

Salsomaggiore, 4-5 Novembre 2022

INAIL
CENTRO RIABILITAZIONE
MOTORIA VOLTERRA

La riabilitazione robotica dell'arto superiore in ambito INAIL

Ilaria Creatini

Centro di Riabilitazione Motoria INAIL Volterra

Il Centro di Riabilitazione Motoria INAIL di Volterra -Riabilitazione intensiva extraospedaliera-

- Riabilitazione nelle patologie di arto superiore
- Riabilitazione nelle patologie del rachide
- Riabilitazione nelle patologie degli arti inferiori
- Riabilitazione nelle lesioni midollari
- Trattamento pre-protetico del paziente amputato
- Cura delle lesioni cutanee complesse



Il Centro di Riabilitazione Motoria INAIL di Volterra

PERCORSO RIABILITATIVO:

I°FASE: Recupero delle abilità necessarie per la vita quotidiana

II°FASE: Programma per il recupero delle abilità gesto-specifiche dell'infortunato sul lavoro



ADL



Gesto lavorativo



Il Centro di Riabilitazione Motoria INAIL di Volterra

INAIL

CENTRO RIABILITAZIONE
MOTORIA VOLTERRA



ISTITUTO
ITALIANO DI
TECNOLOGIA

FLOAT

Esoscheletro riabilitativo per il complesso articolare di spalla

La spalla

- ✓ Controlla e coordina i movimenti dell'arto superiore nello spazio
- ✓ Consente alla mano di accedere al massimo spazio di lavoro



Esoscheletri riabilitativi per la spalla



ARMin V



ANYexo



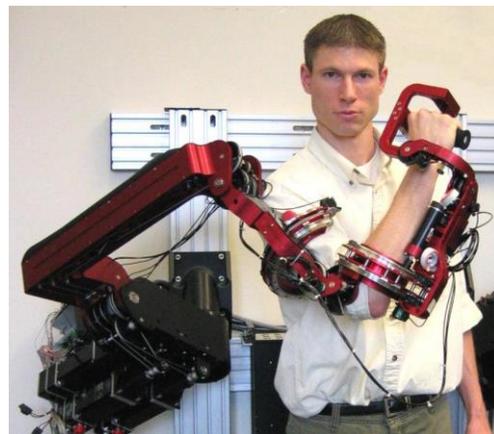
Harmony



ArmeoPower



ALEx



Caden7



CLEVERarm



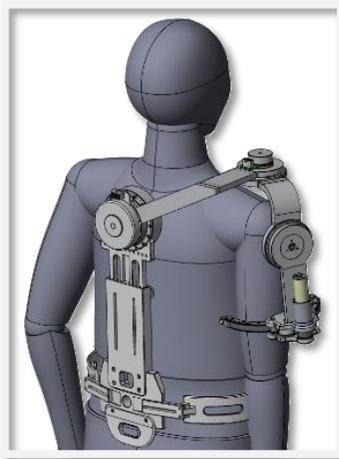
Maryland-Georgetown-Army (MGA)

Analisi delle esigenze e definizione dei requisiti

Esigenze di pazienti e terapisti nella fase post-acuta della riabilitazione della spalla	Requisiti del dispositivo
Rispetto dei processi di riparazione tissutale	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Possibilità di impostare limiti articolari di sicurezza ✓ Corretto allineamento fra il centro articolare della spalla del paziente e la struttura dell'esoscheletro
Rispetto della soglia del dolore	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Comfort dell'interfaccia tra paziente e dispositivo ✓ Facilitazione dei movimenti dolenti
Progressivo recupero dell'escursione articolare della spalla	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 5 gradi di libertà ✓ Programmi di mobilizzazione passiva per il recupero del ROM funzionale (sia movimenti elementari che movimenti più complessi e personalizzati)
Iniziale assistenza al movimento attivo antigravitario	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Funzione di assistenza al movimento di elevazione e supporto nel movimento di discesa dell'arto
Recupero del controllo e della coordinazione del movimento	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Accessibilità della regione della spalla alle mani del terapeuta
Progressiva riattivazione funzionale dell'arto superiore	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Modalità trasparente ✓ Complesso mano-polso libero di interagire con oggetti fisici ✓ Possibilità di adattare la postura alla specifica azione, integrando il movimento dell'arto sup. con l'intero movimento del corpo
Esercizi task-oriented in fase precoce	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Elevata mobilità, ampio spazio di lavoro ✓ Facilitazione di attività finalizzate in un contesto reale

Processo di progettazione collaborativa

In laboratorio...



Concept



Mockup



Prototype 1.0



Prototype 1.1



Prototype 1.2

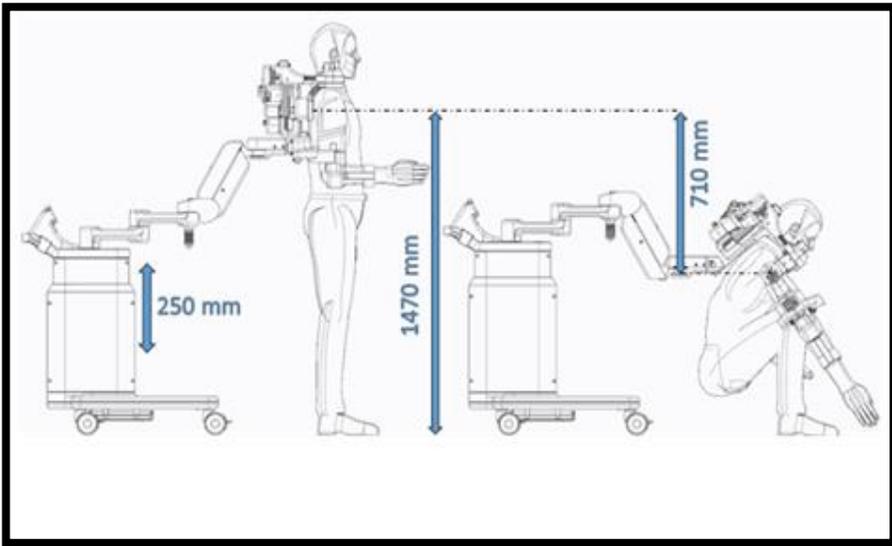
In palestra...



FLOAT, a gravity-compensated upper limb exoskeleton

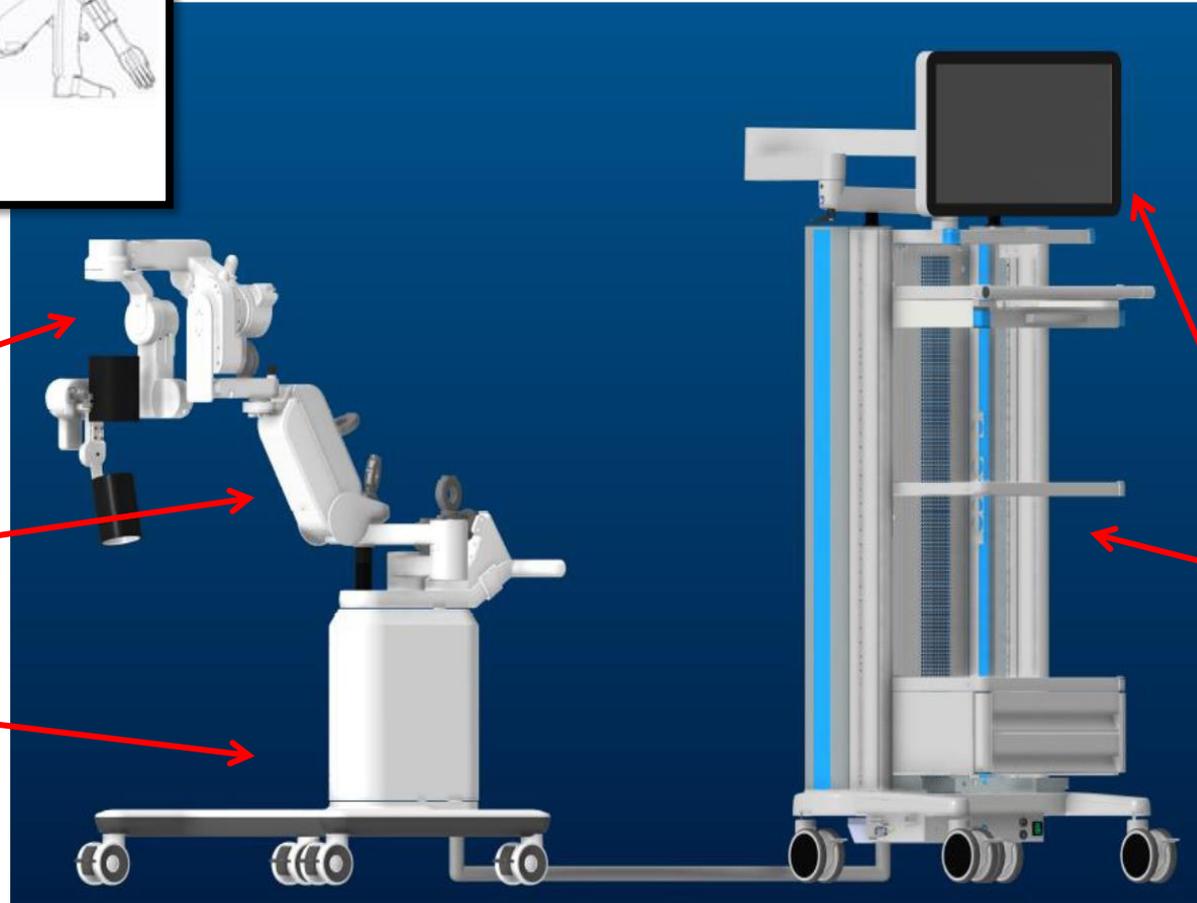


FLOAT: configurazione attuale



Unità robotica:

- Esoscheletro
- Braccio articolato
- Base mobile



Unità di controllo:

- Interfaccia grafica
- Carrello di alimentazione ed elaborazione

FLOAT: Modalità di funzionamento

- ✓ **Modalità “Cinematica”:**
mobilizzazione passiva nelle diverse direzione dello spazio di cui il terapeuta regola ampiezza, velocità, sequenza di esecuzione e numero ripetizioni
- ✓ **Modalità “Ripeti Traiettoria”:**
mobilizzazione passiva secondo una traiettoria registrata sotto la guida del terapeuta: il dispositivo «apprende» il movimento e lo replica
- ✓ **Modalità “Trasparenza”:**
Mobilizzazione attiva del paziente che è libero di muoversi seguendo traiettorie desiderate, sostenuto dall'esoscheletro



Article

A gravity-compensated upper-limb exoskeleton for functional rehabilitation of the shoulder complex

Stefano Buccelli ^{1,*}, Federico Tessari ¹, Fausto Fanin ¹, Luca De Guglielmo ¹, Gianluca Capitta ¹, Chiara Piezzo ¹, Agnese Bruschi ¹, Frank Van Son ¹, Silvia Scarpetta ¹, Antonio Succi ¹, Paolo Rossi ¹, Stefano Maludrottu ¹, Giacinto Barresi ¹, Ilaria Creatini ², Elisa Taglione ², Matteo Laffranchi ¹, Lorenzo De Michieli ¹

¹ Rehab Technologies Lab, Istituto Italiano di Tecnologia, Genova, Italy

² INAIL Motor Rehabilitation Center, Volterra, Italy

* Correspondence: stefano.buccelli@iit.it;

1
2
3
4
5
6
7
8
9



Studio pilota

Riabilitazione motoria del complesso articolare di spalla in seguito a lesioni traumatiche o post-chirurgiche di tipo ortopedico in pazienti infortunati sul lavoro: studio pilota (codice protocollo: CRMINAIL08)

N. di pazienti arruolati:	6/6
Sesso (M/F)	5/1
Età (anni):	mediana= 56,5 min= 37 max= 61
Tipo di lesione:	frattura glena scapola (1), riparazione chir. cuffia dei rotatori (1), riparazione chir. lussazione acromion-claveare (1), capsulite post-traumatica (3)
Distanza dall'evento acuto (giorni):	mediana= 78 min= 66 max= 244
Drop out:	nessuno
Malfunzionamenti	nessuno
Eventi avversi	nessuno

Studio pilota

Riabilitazione motoria del complesso articolare di spalla in seguito a lesioni traumatiche o post-chirurgiche di tipo ortopedico in pazienti infortunati sul lavoro: studio pilota (codice protocollo: CRMINAIL08)

OBIETTIVO PRIMARIO:

valutare la **sicurezza, l'affidabilità** e la **destinazione d'uso** del dispositivo

OBIETTIVI SECONDARI:

- valutare le **modalità di funzionamento** dell'esoscheletro dal punto di vista del terapeuta e del paziente
- Valutare **l'usabilità** del dispositivo in termini di: adattabilità, comfort, tempi di vestizione, fluidità del movimento, sforzo e dolore percepiti dal paziente durante l'utilizzo del dispositivo.

RISULTATI e DISCUSSIONE:

Modalità passiva:

La quasi totalità dei pazienti ha percepito un movimento fluido senza sollecitazioni anomale o eccessive, tensioni o disagio

Modalità attiva:

In un terzo dei casi sono emerse criticità sulla percezione del peso dell'esoscheletro e sulla scarsa fluidità dei movimenti.

Questionario finale:

La quasi totalità dei pazienti e dei fisioterapisti si è detta soddisfatta della sicurezza e dell'adattabilità del dispositivo

Il Centro di Riabilitazione Motoria INAIL di Volterra

INAIL

CENTRO RIABILITAZIONE
MOTORIA VOLTERRA



HABILIS

Nuovo Dispositivo Robotico per la Riabilitazione e il Recupero Funzionale della Mano

HABILIS: Motivazioni

- Il trattamento riabilitativo della mano con lesioni da sovraccarico biomeccanico o con condizioni post-traumatiche è intrinsecamente complesso a causa della grande variabilità di condizioni cliniche che possono verificarsi

- Lesioni da taglio
- Cicatrici
- Ustioni
- Distorsioni
- Lussazioni
- Traumi da schiacciamento
- Fratture
- Amputazioni



Gravi traumi complessi



Cicatrici



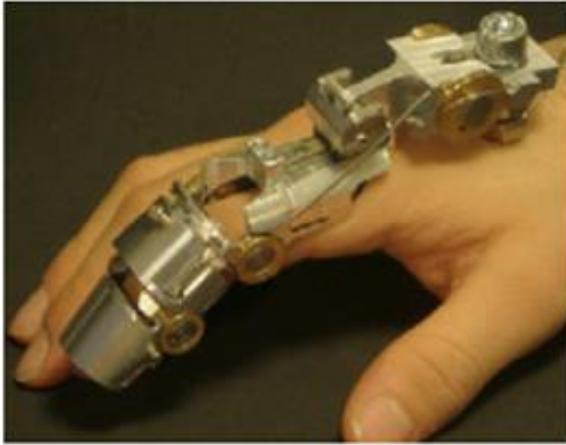
Edema, rigidità, deformità



Lesioni plurinervose

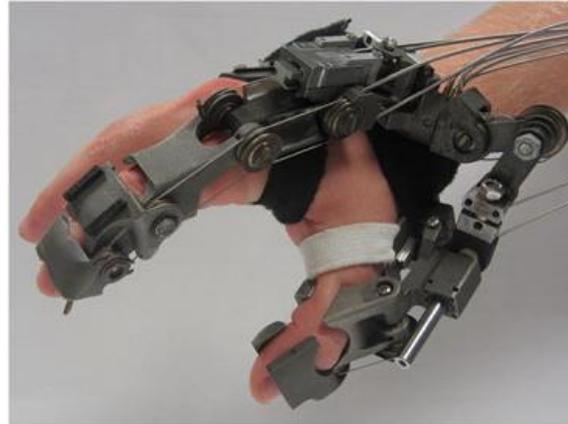
Il progetto **HABILIS** per la riabilitazione ortopedica

Il Laboratorio di Robotica Indossabile @SSSA



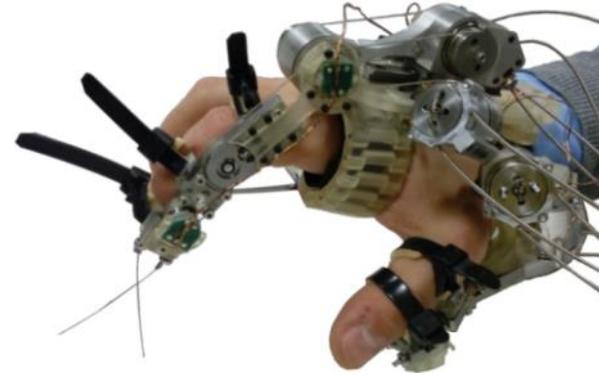
HandeXos

Prima versione di cinematismo per l'indice e sotto-attuazione.



HandeXos Alpha

Nuovo cinematismo per l'indice e aggiunta del pollice.



HandeXos Beta

Aggiunta di sensori di posizione e coppia a bordo robot → Misura dell'interazione uomo-robot

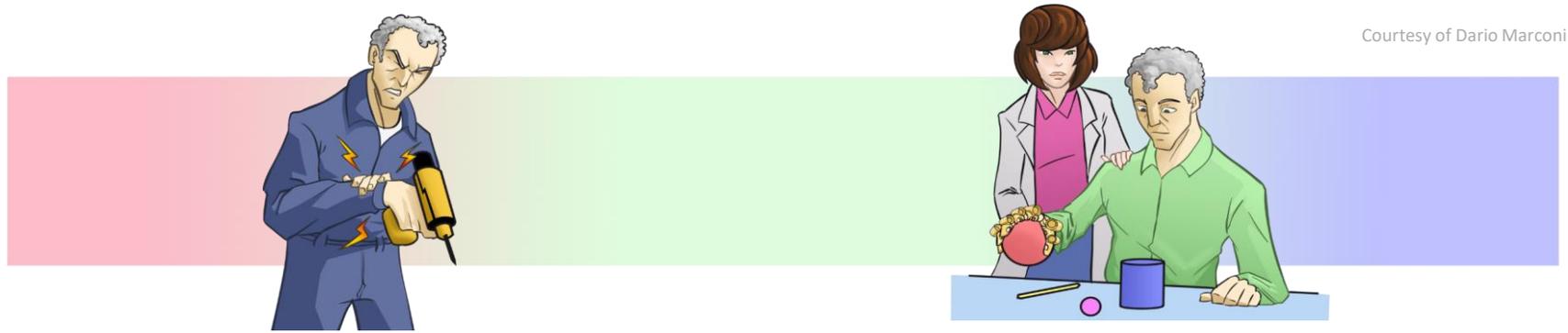


HandeXos Gamma

Miglioramento dell'affidabilità delle componenti meccaniche



Il progetto **HABILIS** per la riabilitazione ortopedica

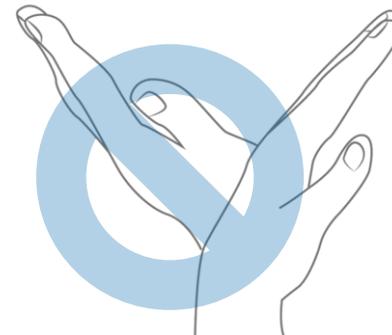
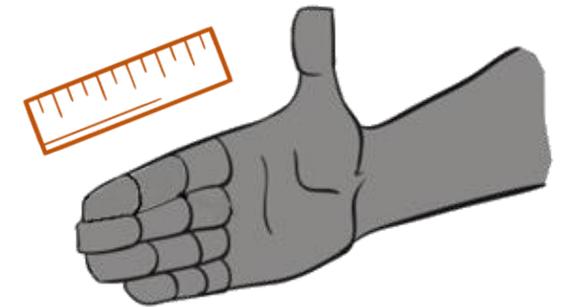
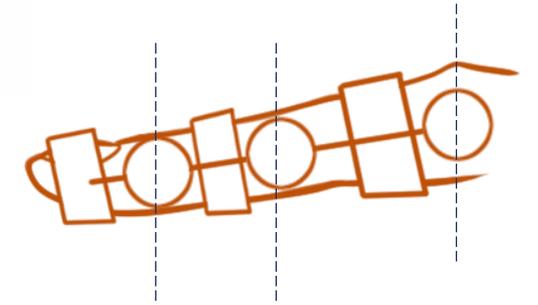
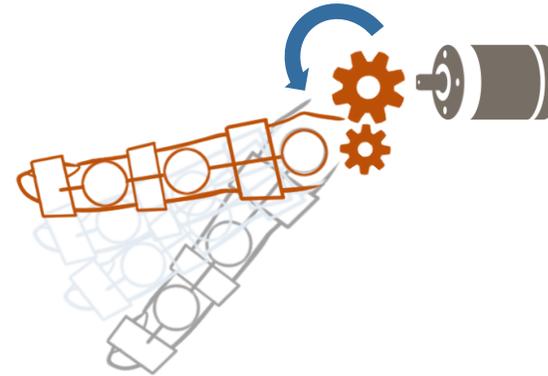
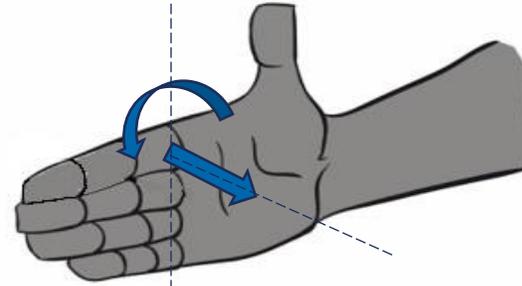


Obiettivo: superare i limiti delle attuali soluzioni robotiche per la mobilizzazione della mano, sviluppando un dispositivo robotico indossabile in grado di:

- **Adattarsi** alla complessità dei quadri lesionali;
- **Assistere** il movimento garantendo al contempo la **protezione** dei tessuti lesi;
- Consentire **l'introduzione precoce di esercizi funzionali**.

HABILIS: Requisiti funzionali

- Misurazione in tempo reale di forze applicate e range angolari
- Auto-allineamento degli assi robotici con gli assi anatomici
- Interfaccia uomo-robot adattabile
- Bloccaggio del polso in posizione funzionale alla riabilitazione



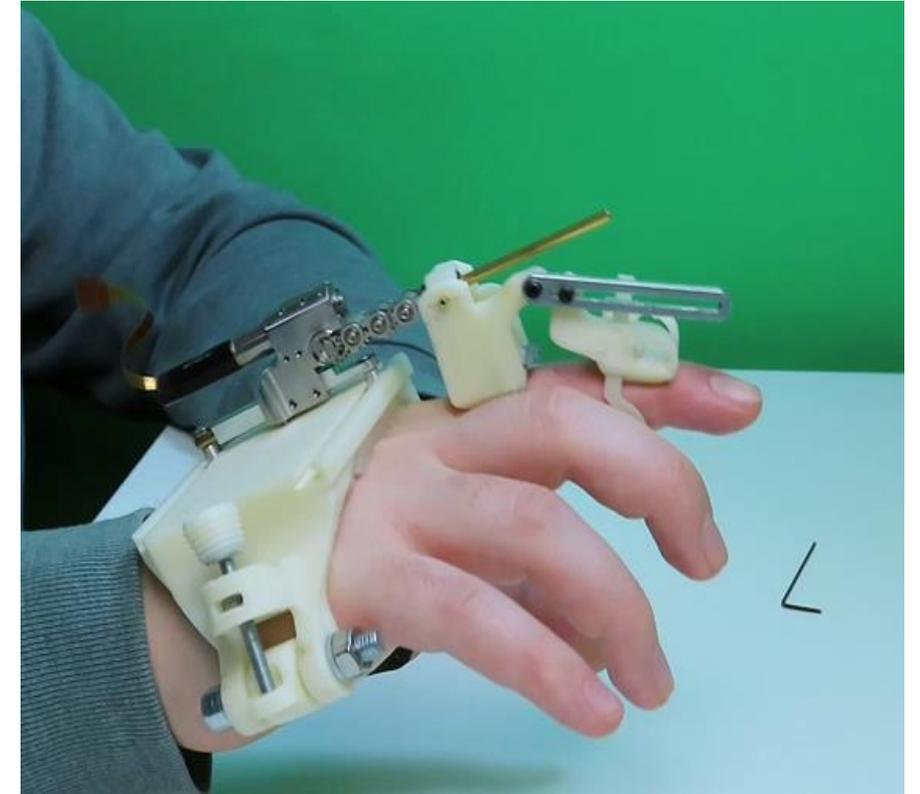
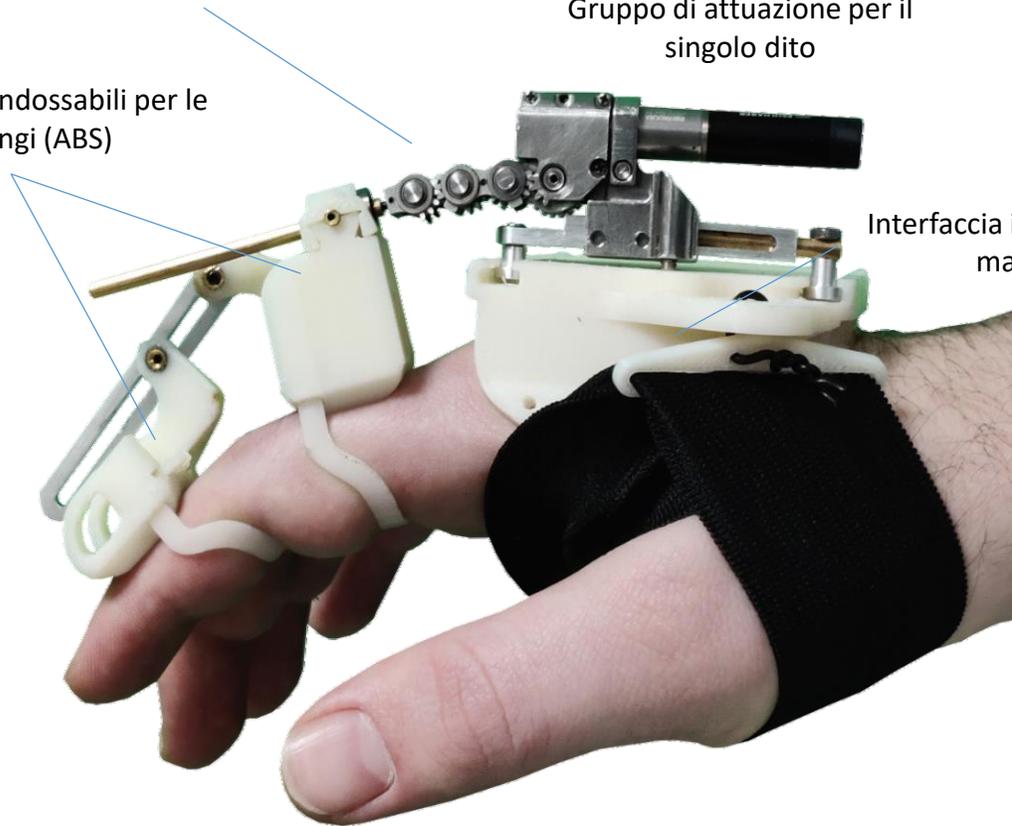
HABILIS: Il modulo esoscheletrico

Cinematismo a ingranaggi per la mobilizzazione dell'articolazione MCP

Gruppo di attuazione per il singolo dito

Interfacce indossabili per le falangi (ABS)

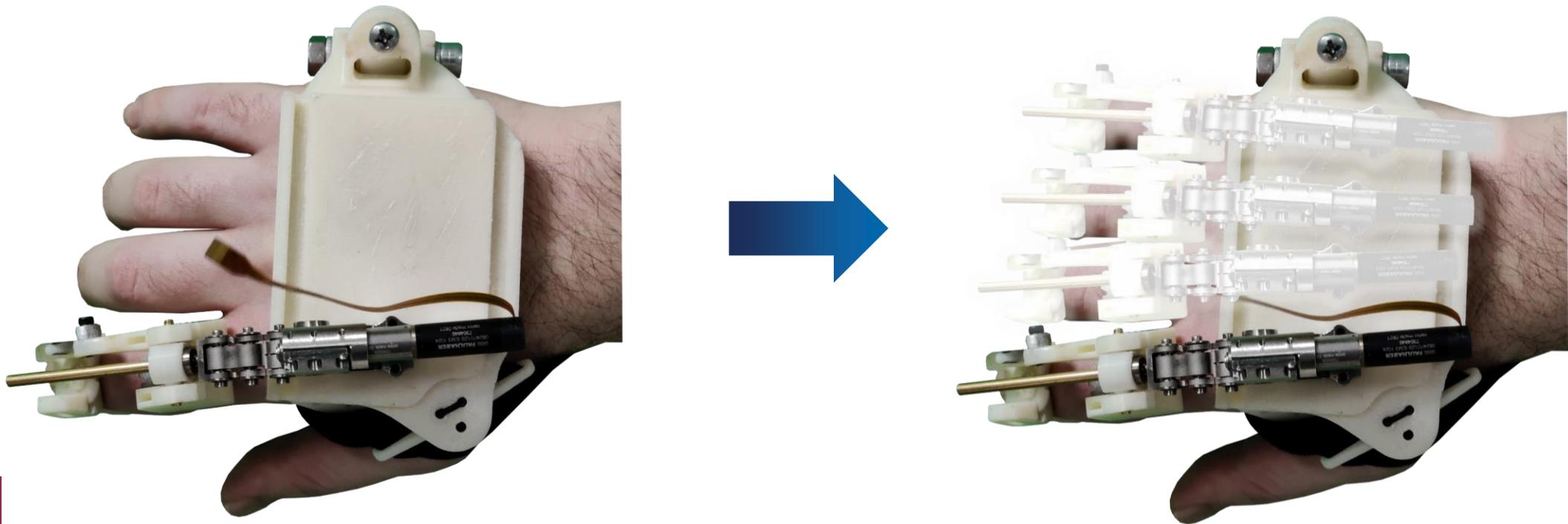
Interfaccia indossabile per la mano (ABS)



HABILIS: Il modulo esoscheletrico

- **Mobilizzazione sinergica delle dita e del pollice**

Prototipo per la mobilizzazione del pollice e la mobilizzazione sinergica delle dita lunghe con gruppi di attuazione, alloggiati direttamente sull'interfaccia della mano.

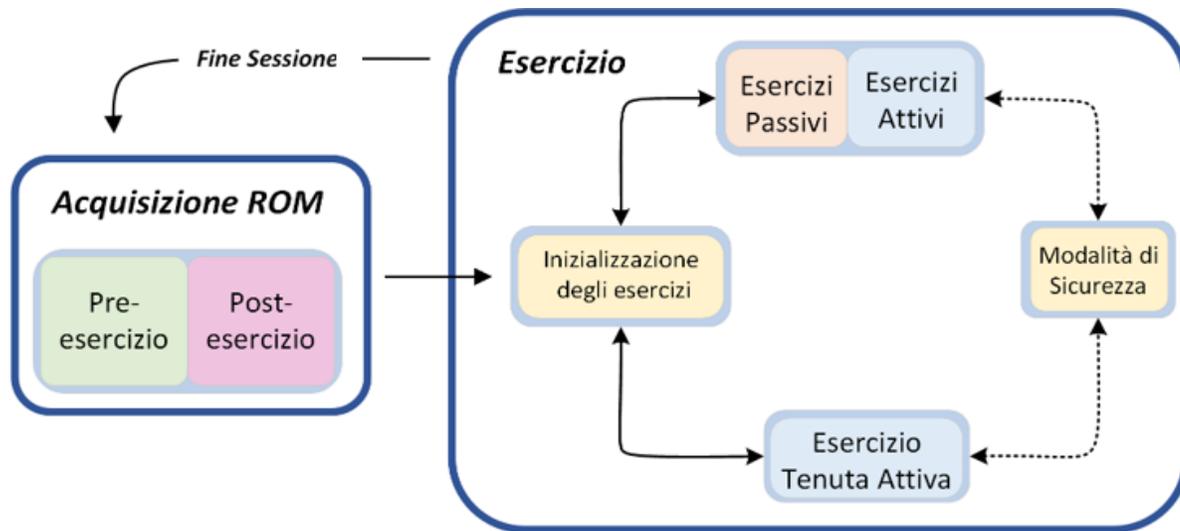


HABILIS: Il modulo esoscheletrico

Studio Clinico HABILIS2020

- Studio clinico pilota per la valutazione della sicurezza e dell'esperienza di utilizzo del dispositivo WRL HX 1MCP V1 in ambiente clinico.

Protocollo di valutazione clinica comprensivo di una serie di esercizi di mobilizzazione passivi e attivi



+ Feed-back paziente con questionario di soddisfazione ad hoc

Set-up sperimentale



HABILIS: Il modulo di polso

Tecnologia layer jamming per l'immobilizzazione del polso

- All'interno del progetto HABILIS++ è in corso uno studio sulla tecnologia layer jamming per la realizzazione di un tutore di polso.
 - La tecnologia layer jamming prevede l'utilizzo di strutture in grado di variare istantaneamente la propria rigidezza in seguito all'applicazione di una pressione di vuoto.
- L'obiettivo è ottenere un dispositivo in grado di superare le attuali soluzioni tecnologiche adottate in clinica.

Tutore di polso in layer jamming:

- ✓ Adattabilità
- ✓ Riutilizzabilità su più soggetti
- ✓ Tempo di preparazione
- ✓ Variazione istantanea della rigidezza



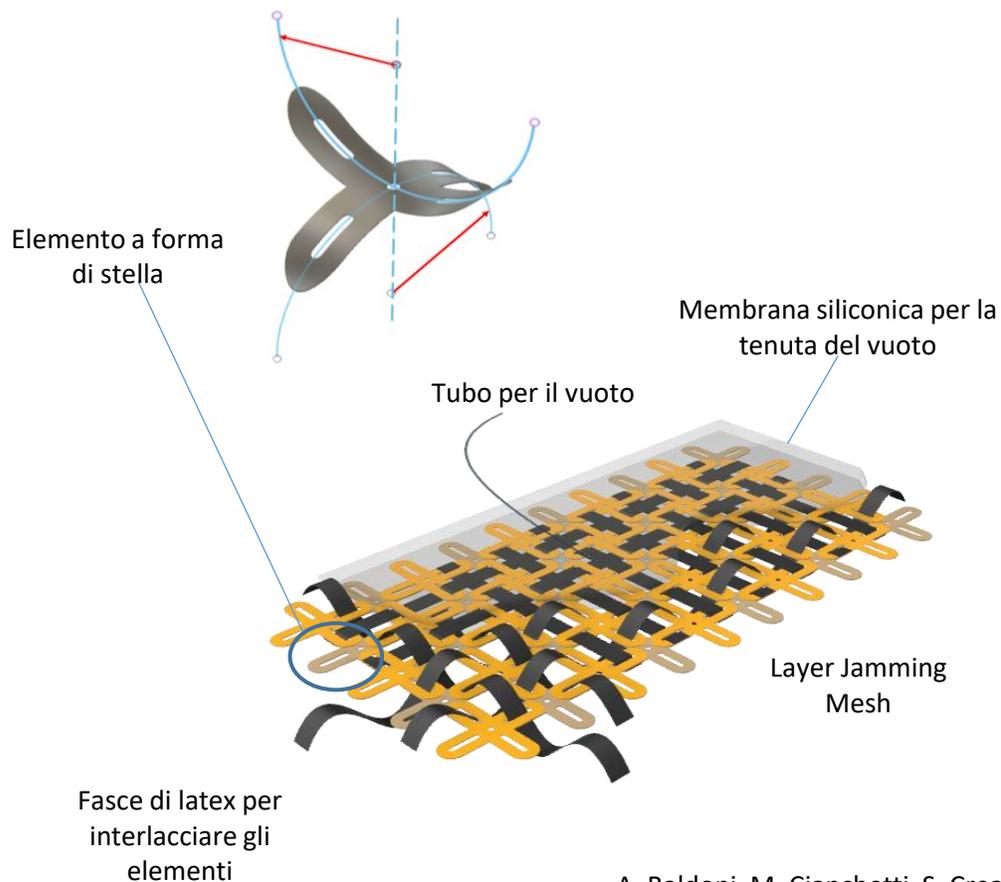
Splint tradizionale in materiale termoformabile:

- ✓ Adattabilità
- ✗ Riutilizzabilità su più soggetti
- ✗ Tempo di preparazione richiesto

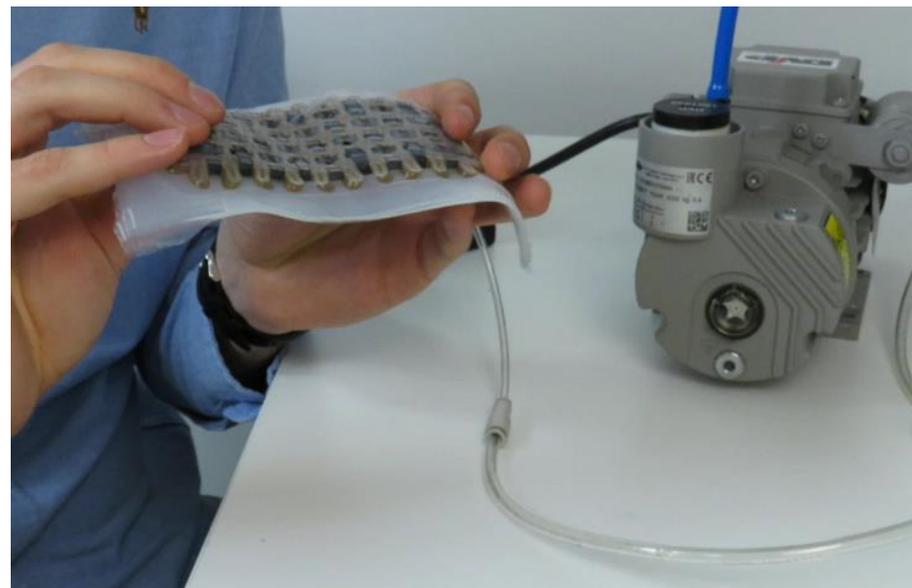


HABILIS: Il modulo di polso

Tecnologia layer jamming per l'immobilizzazione del polso



Strutture a maglia di elementi sottili a forma di stella interlacciati tra loro. La forma dei singoli elementi è studiata per adattarsi meglio a superfici complesse, ad esempio superfici anatomiche.



A. Baldoni, M. Cianchetti, S. Crea, N. Vitiello. Guscio ortesico a rigidità variabile, Brevetto di Invenzione Industriale (Italian Patent), num. 102019000024301, application date: December 17, 2019. This patent was released on January 17, 2022. Patent number: 102019000024301



ISTITUTO
DI BIORBOTICA



Sant'Anna
Scuola Universitaria Superiore Pisa

INAIL

CENTRO RIABILITAZIONE
MOTORIA VOLTERRA



ISTITUTO
ITALIANO DI
TECNOLOGIA

INAIL
CENTRO RIABILITAZIONE
MOTORIA VOLTERRA



Grazie per l'attenzione!