

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

*Relazione per la prova finale*  
**«GLI ESOSCHELETRI: DISPOSITIVI  
INDOSSABILI A SUPPORTO DELL'OPERATORE  
UMANO»**

Padova, 11/07/2024

Tutor universitario:

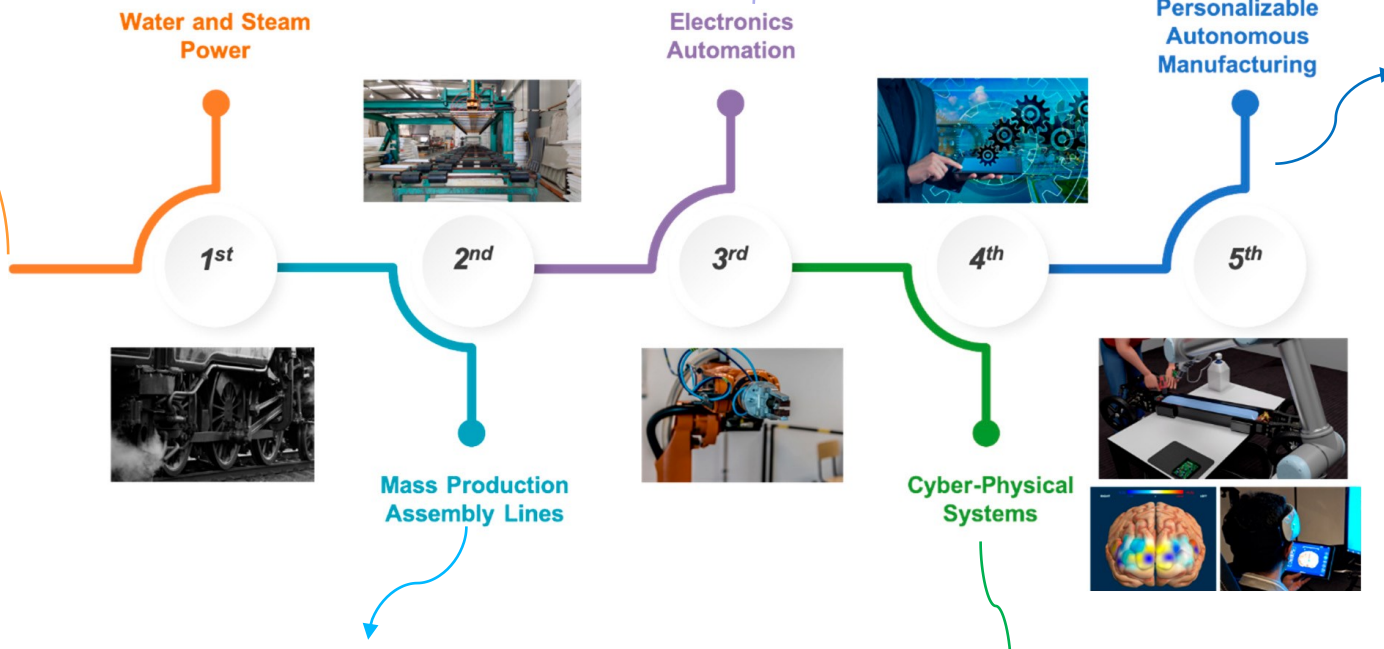
Prof.ssa Martina Calzavara

Laureando: Lorenzo Candiotta

- INTRODUZIONE E OBIETTIVI
- GLI ESOSCHELETRI
- SISTEMA ENERGETICO DEGLI ESOSCHELETRI ATTIVI
- PROGETTO EXO@WORK
- ESOSCHELETRO ABLE NELL'INDUSTRIA AUTOMOBILISTICA
- CONCLUSIONI

Produzione di energia meccanica tramite acqua, vapore e combustibili fossili.

Automazione industriale, tramite robot e sistemi a controllo numerico.



Elettricità, linee di montaggio e produzione di massa.

IoT e intelligenza artificiale nell'industria.

Industria omocentrica, maggiore interazione uomo-macchina. Industria sostenibile e resiliente.

Esoscheletri

(Nahavandi 2019)

L'obiettivo di questa relazione è fornire una panoramica generale sugli esoscheletri. Si vuole quindi descrivere in maniera dettagliata cosa sono, come sono costruiti e qual è il loro scopo nel mondo del lavoro.

Nelle slide successive verranno descritte in modo approfondito le *tipologie* e le *caratteristiche costruttive degli esoscheletri*.

Successivamente si pone l'attenzione su *tre casi studio* ricavati da articoli scientifici:

- Il reparto energetico degli esoscheletri attivi
- Il progetto Exo@Work
- L' esoscheletro Able nell'industria automobilistica



(Bogliolo 2020)

Gli esoscheletri consentono di ridurre lo sforzo fisico e diminuiscono i rischi di disturbi muscoloscheletrici.

Si suddividono in:

Sistemi **attivi**

Sistemi **passivi**

Gli esoscheletri hanno diverse **tipologie di azionamenti**:

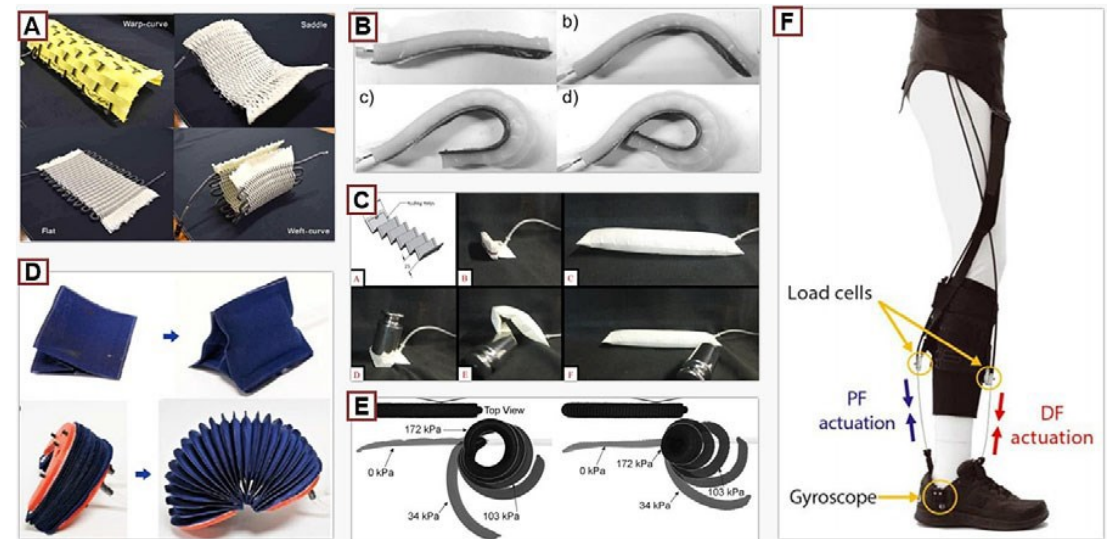
- Muscoli artificiali pneumatici McKibben (A)
- Elastomeri fluidi (B)
- Azionamenti gonfiabili in tessuto (C,D,E)
- Azionamenti a cavo (F)



(Agadexo Shoulder)



(Mate XB)



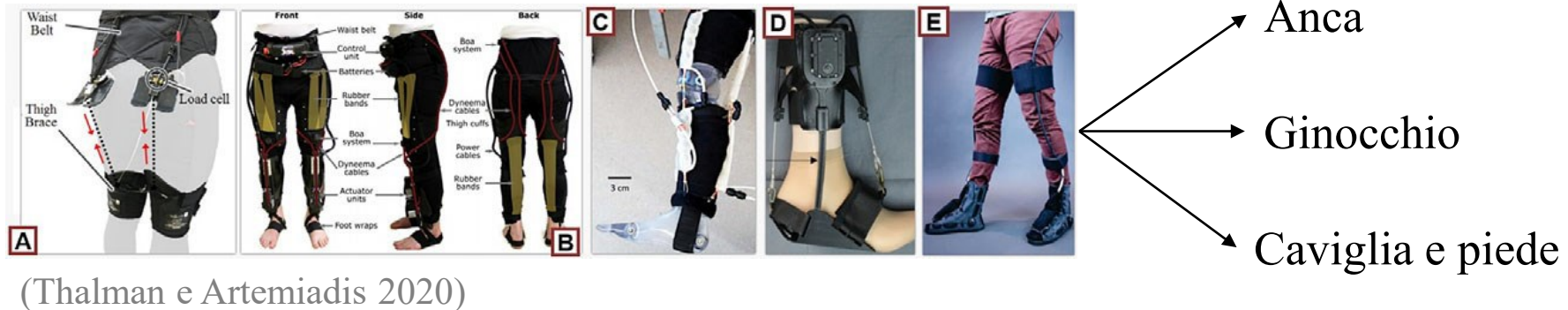
(Thalman e Artemiadis 2020)



## Esoscheletri per la *zona superiore del corpo*



## Esoscheletri per la *zona inferiore del corpo*



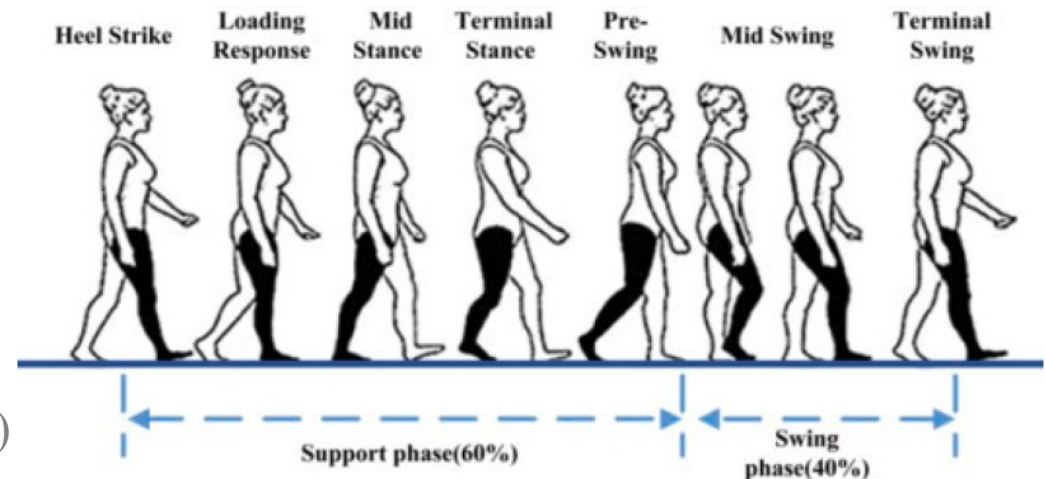
Gli *esoscheletri attivi* sono dotati di sistemi di rilevazione e analisi del movimento, ciò comporta un notevole dispendio energetico dell'esoscheletro e una limitata durata di utilizzo.



Per ottimizzare il consumo energetico sono stati introdotti *algoritmi di previsione* del movimento e l'*intelligenza artificiale*.

Tramite il *Q-learning* è stato proposto un algoritmo di previsione del supporto da fornire durante la deambulazione.

(Li e Chen 2023)



Il progetto Exo@Work si è svolto dal 2018 al 2021 nella regione DACH (Germania, Austria, Svizzera) e aveva come obiettivo quello di valutare gli esoscheletri nel mondo del lavoro industriale.

## Metodi di valutazione

Colloqui con esperti:

- Domande generali
- Aspettative
- Usabilità
- Aree di applicazione
- Responsabilità
- Trend futuri

(Ralfs et al. 2023)



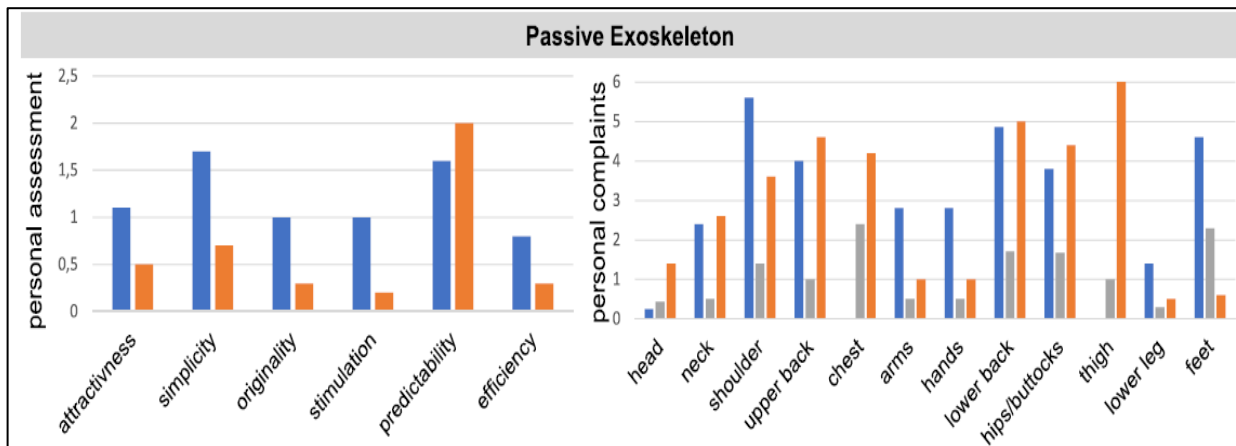
Studio basato sui questionari:

- Conoscenze preliminari e affinità dell'operatore con l'esoscheletro
- Impressioni dopo il primo utilizzo
- Valutazioni finali dopo il periodo di prova

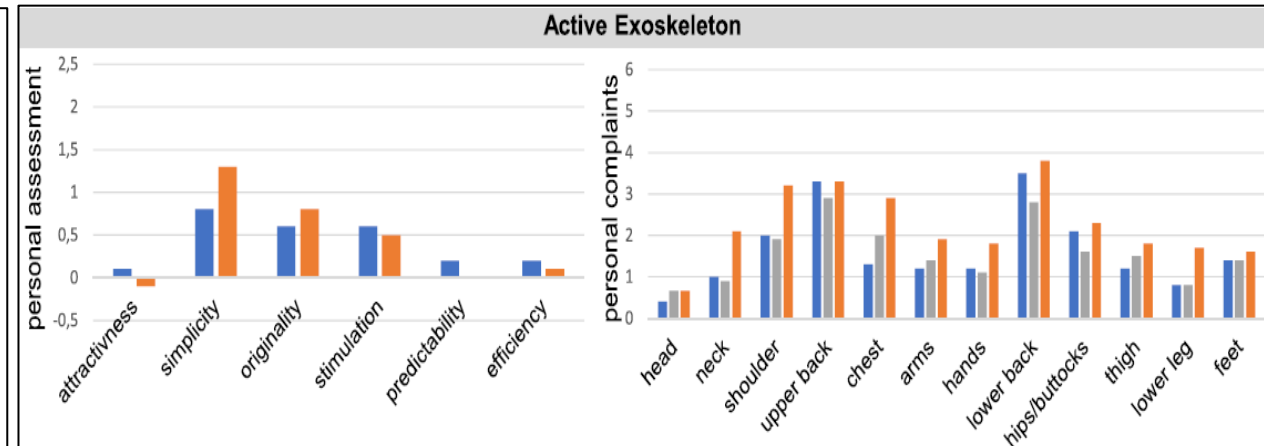


Dai colloqui con gli esperti è emerso il grande potenziale che hanno gli esoscheletri, nonostante ci siano ancora problematiche legate al design e alla produzione.

## Studio basato sui questionari



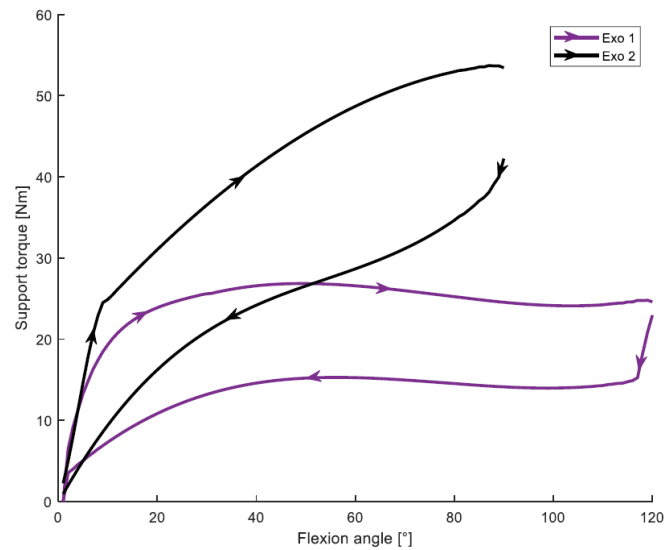
**Legend:**  
- 3 = totally disagree  
3 = totally agree  
■ before test phase ■ after final use



**Legend:**  
0 = no complaints  
10 = worst complaints  
■ before test phase ■ after first use ■ after final use

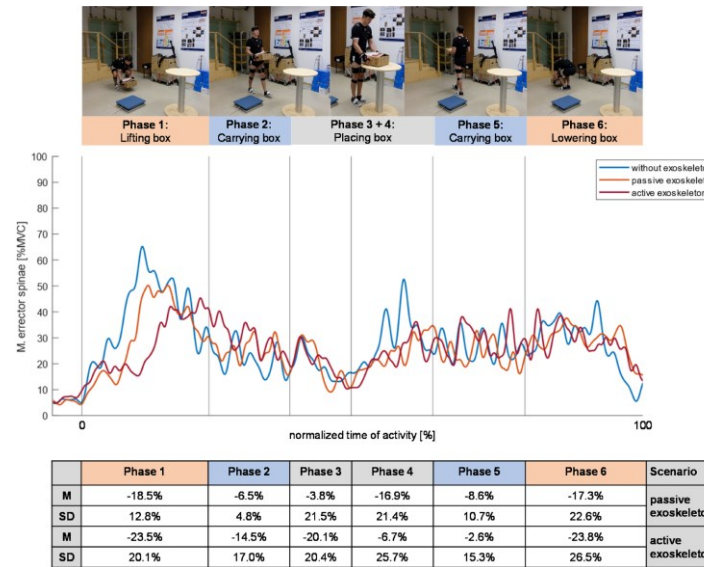
## Indagini sul luogo di lavoro:

### Modellazione e simulazione



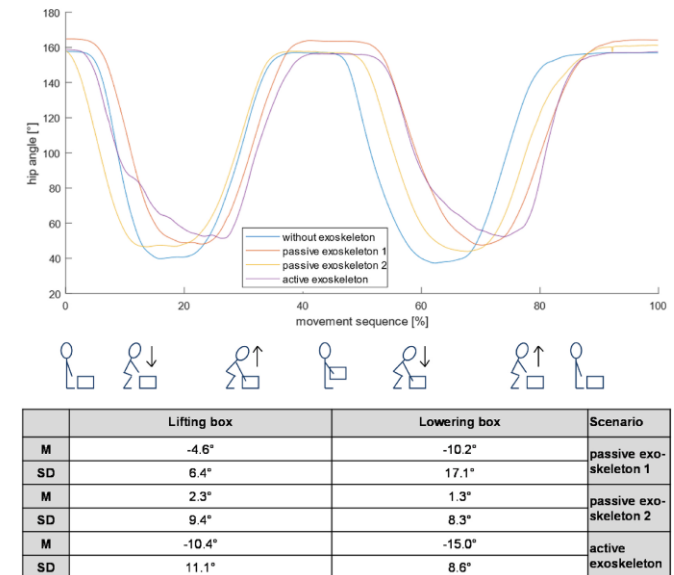
Ciclo di flessione-estensione di due esoscheletri per il supporto della schiena

### Attività muscolare



Confronto dell'attività muscolare con e senza l'esoscheletro tramite l'elettromiografia di superficie

### Analisi del movimento

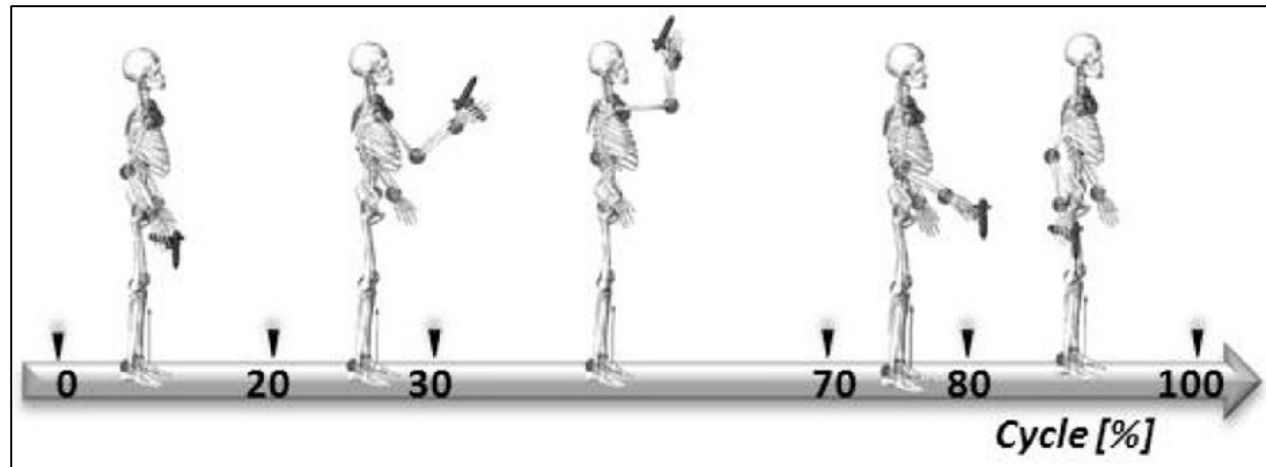


Studio delle accelerazioni nelle articolazioni e analisi degli angoli articolari

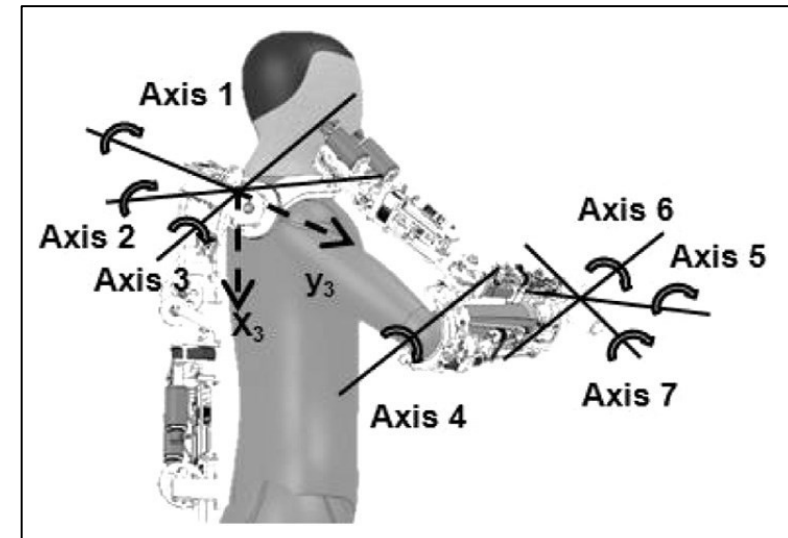
Le aziende automobilistiche moderne, come la PSA Peugeot Citroën, hanno reso le linee di costruzione sempre più automatizzate, ma alcune lavorazioni richiedono ancora l'intervento umano.



È stato adottato l'esoscheletro ABLE nell'attività di avvvitamento di pezzi posti sotto la scocca dell'auto, il quale eroga un momento torcente per fornire assistenza alla spalla dell'operatore.



(Sylla et al. 2014)

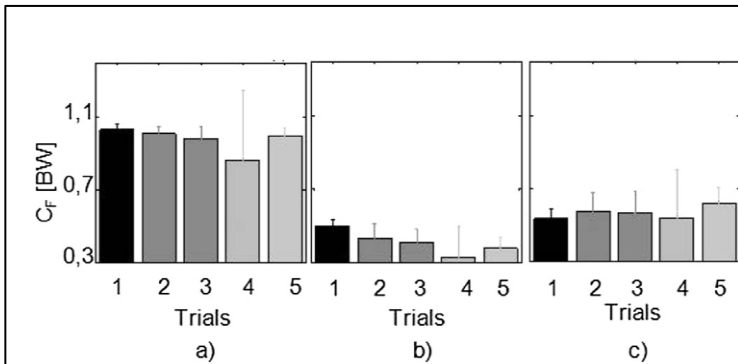


Caratteristiche costruttive:

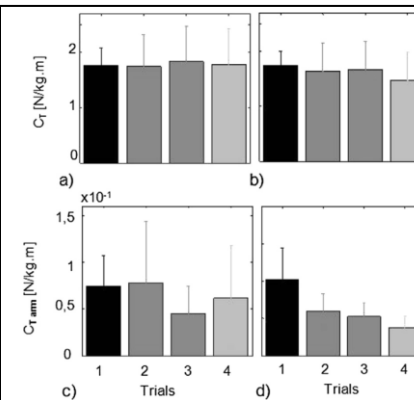
- 7 assi di movimento
- Polso robotico
- Ottima vestibilità
- Trasmissione a vite e a cavo

Sono state comparate 5 prove in cui veniva cambiato il momento torcente:

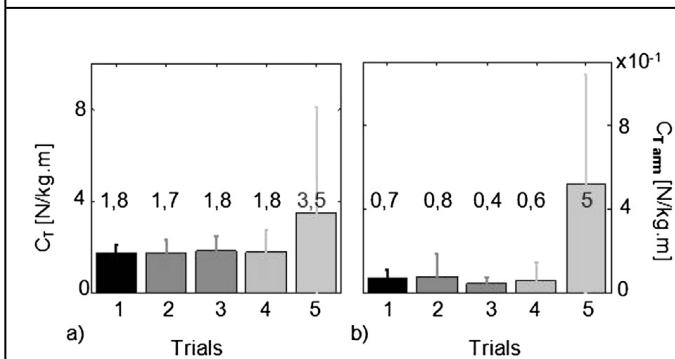
- Prova 1,  $m_{x3} = i$  soggetti non erano assistiti;
- Prova 2,  $m_{x3} = 1,035 \text{ kg}\cdot\text{m}$ ;
- Prova 3,  $m_{x3} = 1,335 \text{ kg}\cdot\text{m}$ ;
- Prova 4,  $m_{x3} = 1,635 \text{ kg}\cdot\text{m}$ ;
- Prova 5,  $m_{x3} = 1,935 \text{ kg}\cdot\text{m}$ .



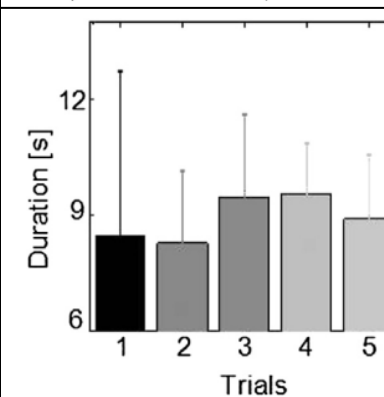
Forze verticali di reazione al suolo:  
(a) Globale  
(b) Piede sinistro  
(c) Piede destro



Coppie articolari per l'intero corpo (a-b) e per il braccio (c-d) durante l'intero movimento (a-c) e nella fase critica di avvitalamento (b-d).



Coppie articolari rilevate per l'intero corpo (a) e per il braccio (b) durante le 5 prove.



Durata della fase critica di avvitalamento.



## Gli esoscheletri

### VANTAGGI

- Consentono di ridurre i disturbi muscoloscheletrici
- Potenziano le capacità umane
- Versatilità elevata, possono essere utilizzati in più settori
- Prospettive future di sistemi sempre più tecnologici e adatti a supportare l'uomo nella quotidianità

### SVANTAGGI

- Mancanza di una normativa che ne regolamenti la costruzione e l'utilizzo
- I sistemi attivi hanno una durata di utilizzo limitata
- Progettazione molto complessa
- Costo elevato
- Eticamente non ancora accettati dalla società odierna

***GRAZIE PER L'ATTENZIONE***