

LABORATORIO DI  
STUDIO DEGLI  
EFFETTI  
DELL'ESOSCHELETRO  
SULL'ATTIVITÀ  
LAVORATIVA

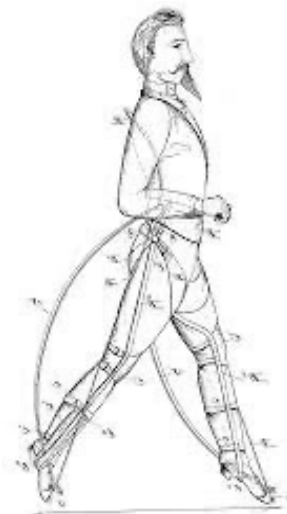
LUCIA BOTTI

DIEF - CRIS

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI  
MODENA E REGGIO EMILIA



**UNIMORE**  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI  
MODENA E REGGIO EMILIA

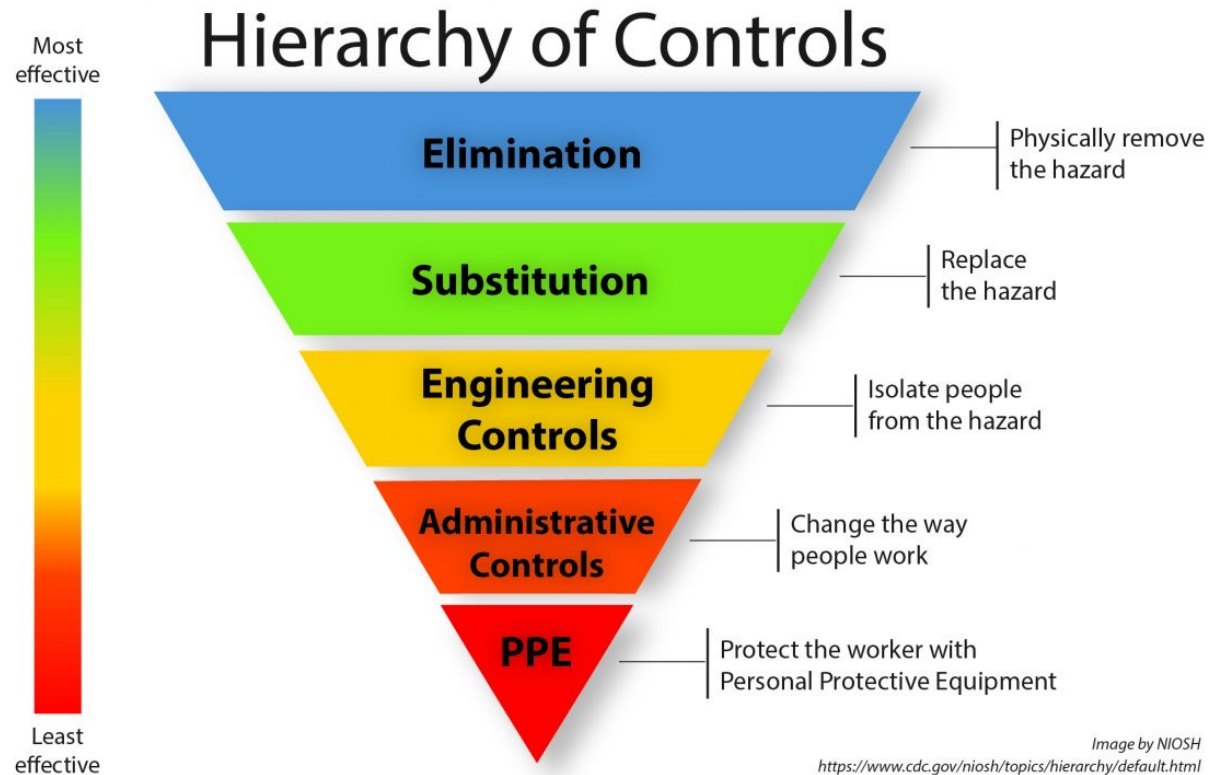


L'ingegneria e l'innovazione tecnologica per la sicurezza nei luoghi di lavoro: il progetto "Safety Engineering" del Dipartimento di Ingegneria Industriale di Unibo  
Università Degli Studi di Bologna. Bologna, 6 Dicembre 2022



# L'APPROCCIO

Studio e progettazione di soluzioni a supporto del miglioramento della salute e della sicurezza negli luoghi lavoro, secondo la **gerarchia dei controlli del rischio**.





# ALCUNE INIZIATIVE E ATTIVITA' SVOLTE

[ **bancadelle**soluzioni ]  
PARENTESI MAI SOSPESE

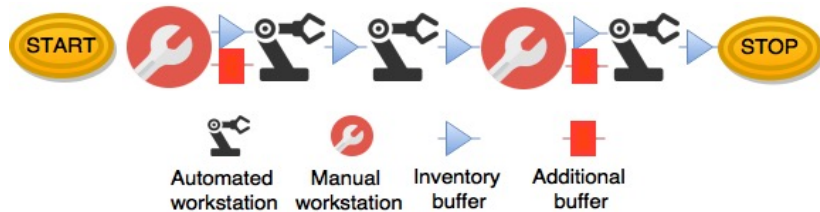
## INTEGRATION OF AUTOMATION IN MANUAL PROCESSES

THE MEAT-PROCESSING INDUSTRY

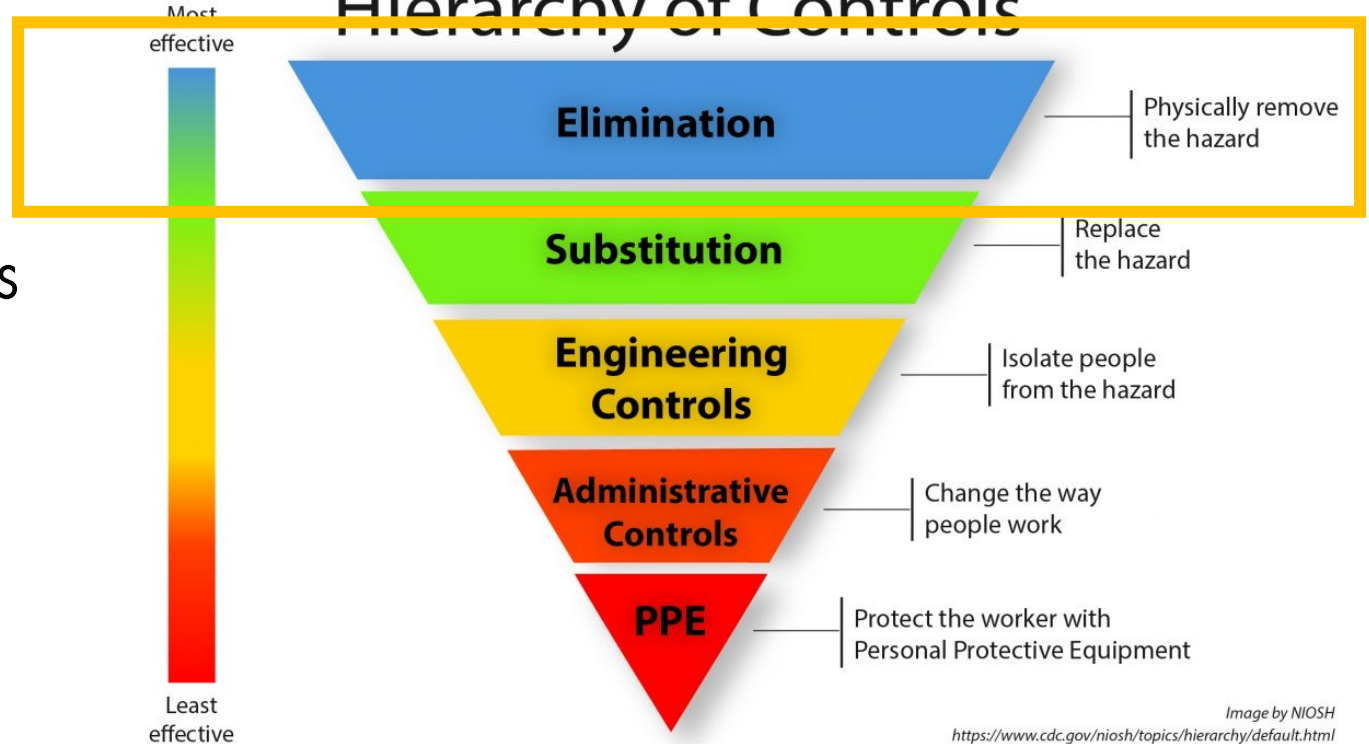


## PROPER DESIGN OF THE PLANT LAYOUT

INTEGRATING ERGONOMICS AND LEAN MANUFACTURING  
PRINCIPLES IN A HYBRID ASSEMBLY LINE



## Hierarchy of Controls





# ALCUNE INIZIATIVE E ATTIVITA' SVOLTE

[ **bancadellesoluzioni** ]  
PARENTESI MAI SOSPESSE

- 1. INDIVIDUAZIONE del problema**  
Si identifica il problema ergonomico specifico che si vuole affrontare.  
Il problema è la criticità ergonomica che richiede l'adozione di misure di controllo del rischio.  
*Personale coinvolto:* Datore di Lavoro, RSPP (e Coordinatore per la Sicurezza), RLS, lavoratori.
- 2. COSTITUZIONE del Gruppo Tecnico**  
Un gruppo di persone esperte, interne o esterne all'organizzazione, si riunisce per individuare il Gruppo Tecnico che guiderà il processo di miglioramento dell'attività lavorativa oggetto dell'intervento.  
*Personale coinvolto:* Datore di Lavoro, RSPP (e Coordinatore per la Sicurezza).
- 3. RIUNIONE del Gruppo Tecnico**  
Il Gruppo Tecnico analizza le potenziali soluzioni alternative per il problema individuato. La scelta dell'intervento da eseguire spetta al datore di lavoro, che definisce le priorità e il calendario.
  1. Individuazione delle possibili soluzioni (tecniche, organizzative, procedurali)
  2. Valutazione dell'applicabilità nel cantiere specifico di una o più soluzioni
  3. Scelta della soluzione da adottare
  4. Programmazione della formazione e dell'addestramento*Personale coinvolto:* Datore di Lavoro, RSPP (e Coordinatore per la Sicurezza), RLS, lavoratori.
- 4. INTERVENTO e adozione della soluzione**  
La soluzione scelta per il miglioramento dell'ergonomia dal Datore di Lavoro, con il supporto del Gruppo Tecnico, viene adottata all'interno dell'ambiente di lavoro e seguendo il piano definito nella fase precedente.  
*Personale coinvolto:* RSPP, RLS, lavoratori.
- 5. PIANI di formazione e addestramento**  
Tutti i lavoratori che utilizzeranno l'ausilio o l'attrezzatura di miglioramento partecipano a uno step di addestramento sul campo, inerente l'uso dell'ausilio e dove vengono consegnate e illustrate le istruzioni per l'uso previste dal fabbricante.  
*Personale coinvolto:* RSPP (e Coordinatore per la Sicurezza), medico competente, RLS, lavoratori.
- 6. MONITORAGGIO e analisi dei risultati**  
Dopo la conclusione dell'intervento, è necessario monitorare il sistema e supervisionarne il corretto funzionamento. Il miglioramento continuo deve essere garantito attraverso l'applicazione di semplici azioni correttive.
  - 6.1 Se il controllo è ok, effettuare una task analysis
    - 6.1.1 Ripetere lo Step 6.1 finché il controllo è ok
  - 6.2 Se il controllo non è ok, tornare allo Step 1*Personale coinvolto:* Datore di lavoro, RSPP, RLS, lavoratori.

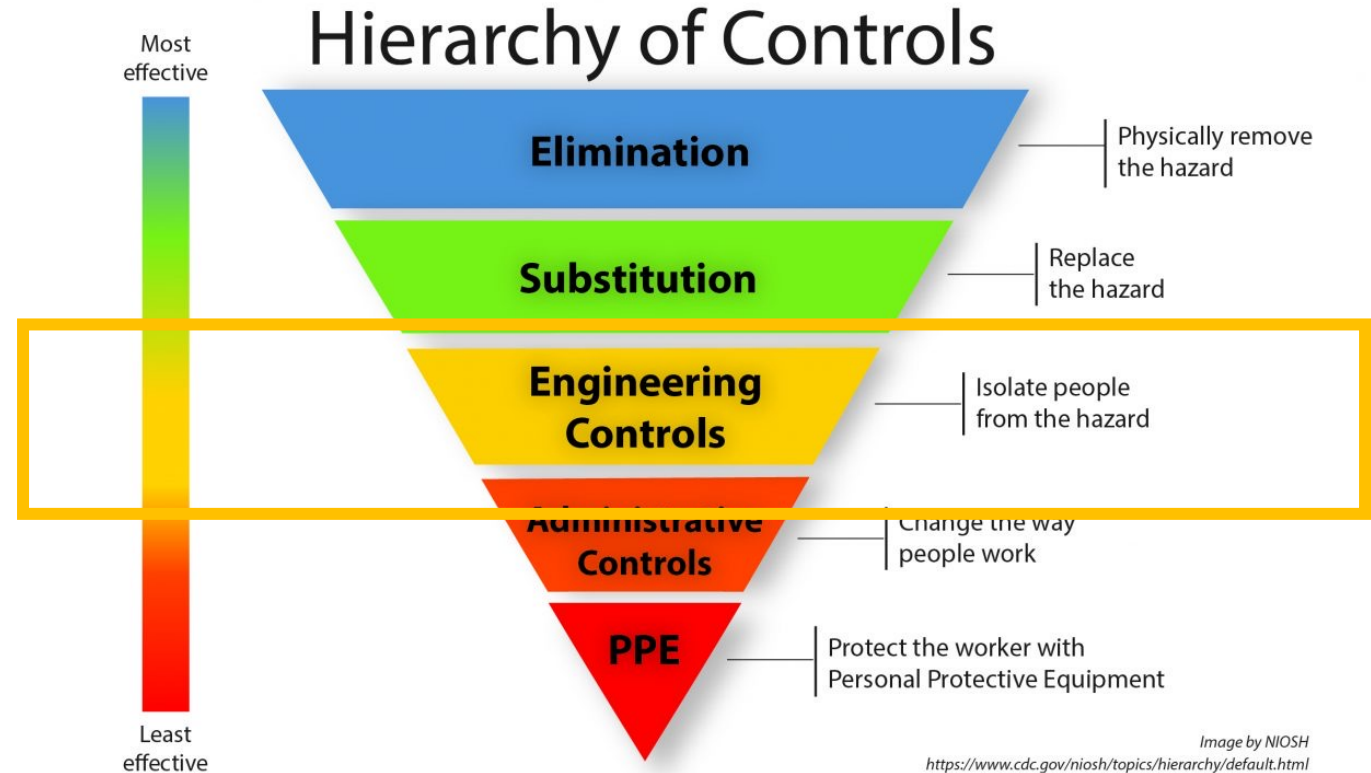
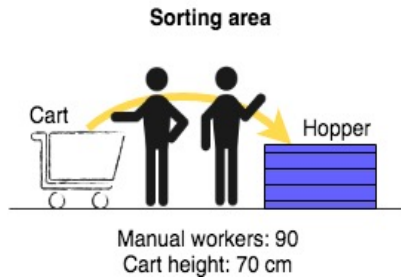


Image by NIOSH  
<https://www.cdc.gov/niosh/topics/hierarchy/default.html>

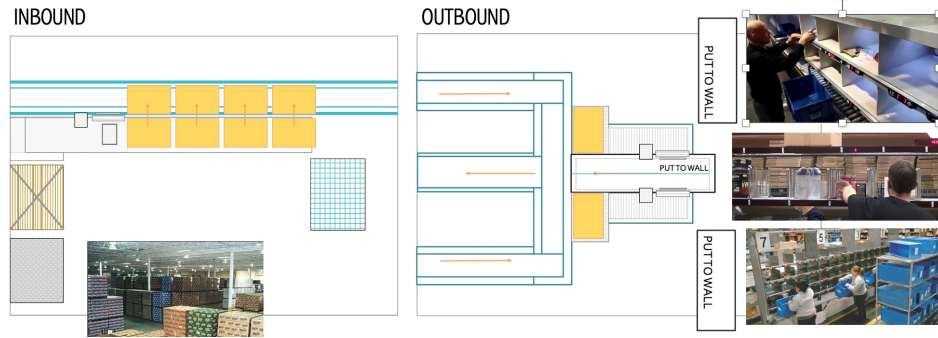




# ALCUNE INIZIATIVE E ATTIVITA' SVOLTE

## DESIGN OF WORKPLACES IN A LOGISTICS COMPANY

INBOUND AND OUTBOUND WORKSTATIONS

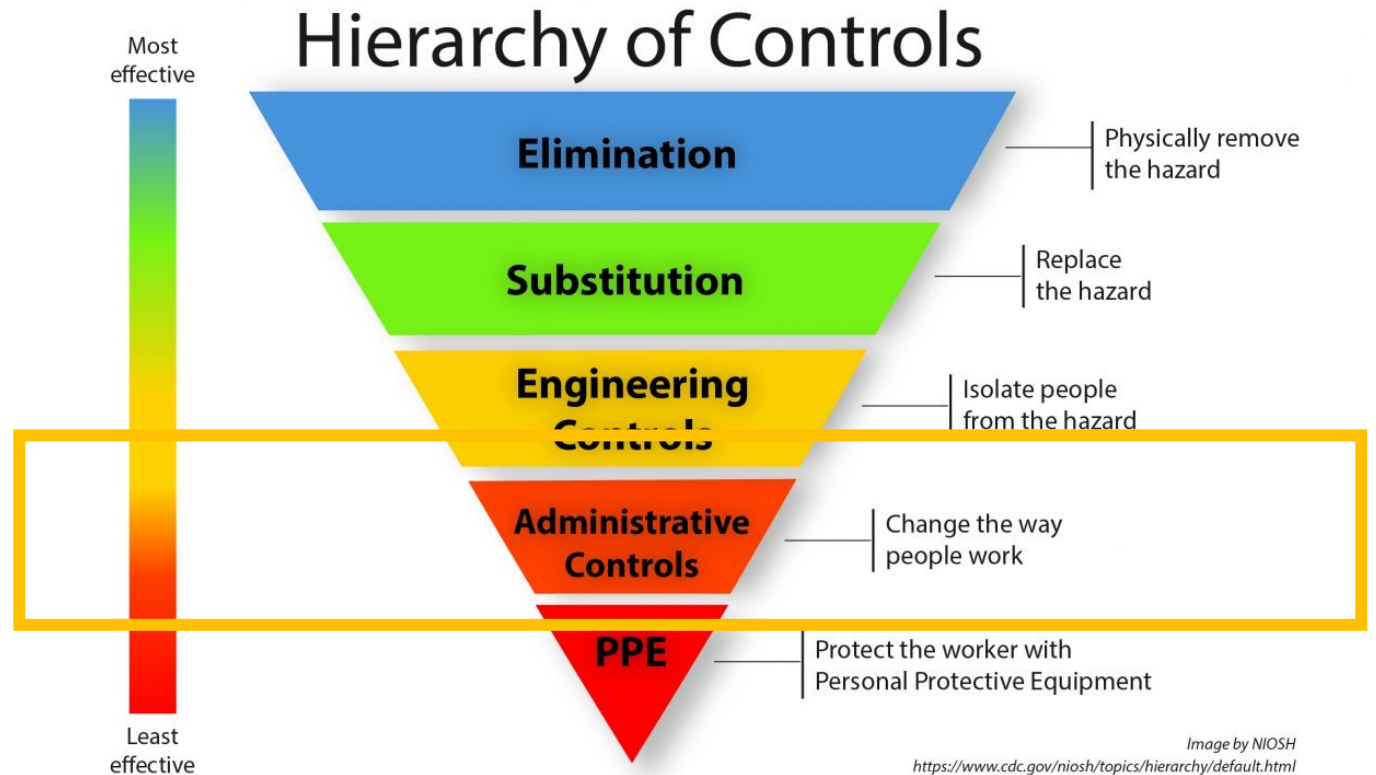


## DEFINITION OF THE PRINCIPLES FOR THE SET-UP OF THE WORKSTATION IN INDUSTRY



## ERGONOMICS AND HUMAN FACTORS IN WASTE COLLECTION

Lucia Botti - [lucia.botti@unimore.it](mailto:lucia.botti@unimore.it)

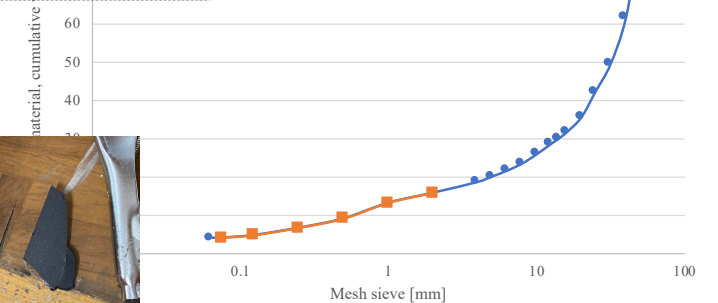
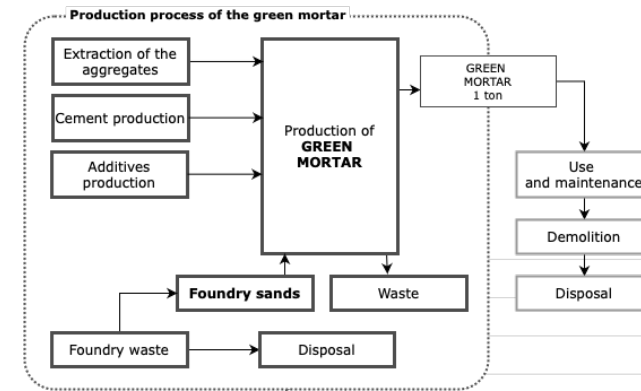
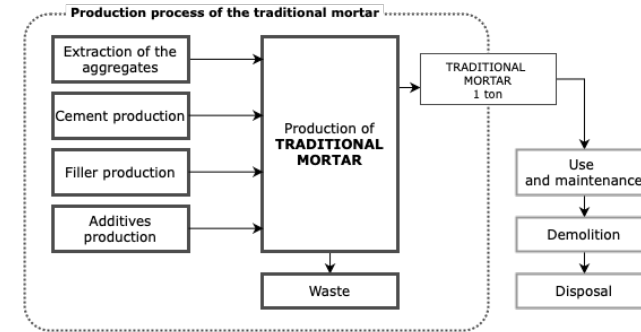
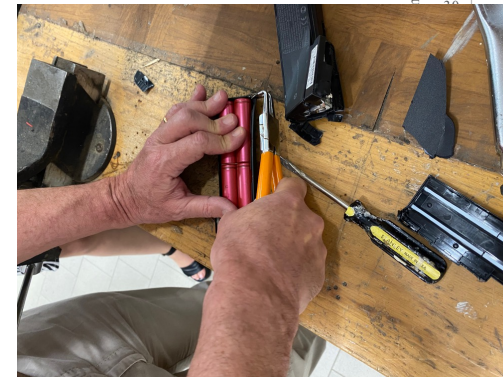




# ALCUNE INIZIATIVE E ATTIVITA' SVOLTE

## Sostenibilità

- CIRCULAR ECONOMY FOR SUSTAINABLE BUILDING: ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC IMPACTS OF A GREEN MORTAR WITH FOUNDRY SAND WASTE
- ANALYSIS OF SUSTAINABLE CONCRETE OBTAINED FROM THE BY-PRODUCTS OF AN INDUSTRIAL PROCESS AND RECYCLED AGGREGATES FROM CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE
- DESIGN AND PRODUCTION OF CARGO-BIKES AND HAND-BIKES WITH PEDAL ASSISTANCE WITH RECOVERED AND REGENERATED BATTERIES FROM NOTEBOOKS, INVOLVING DISABLED PERSONS DURING MANUFACTURING PROCESSES





# ALCUNE INIZIATIVE E ATTIVITA' SVOLTE

## Salute e sicurezza sul lavoro

- POST – PROGETTO OCCUPAZIONE E SALUTE POST –TRAPIANTO
- APPROCCIO METODOLOGICO PER L'ANALISI DEGLI INFORTUNI E LA DEFINIZIONE DI STRATEGIE MIRATE DI PREVENZIONE
- LABORATORIO DI STUDIO DEGLI EFFETTI DELL'ESOSCHELETRO SULL'ATTIVITÀ LAVORATIVA

Trasporti, magazzinaggio e comunicazioni



Commercio all'ingrosso e al dettaglio



Metallurgia e fabbricazione prodotti in metallo



Fabbricazione di macchine e apparecchi meccanici



Attività di manutenzione (trasversale a diverse categorie)



**Classificazione secondo i criteri del database InformoWeb**

Infortunati gravi  
Infortunati mortali

Incidenti  
Fattori di rischio  
Attività lavorativa



**POST**  
Progetto Occupazione e Salute post-Trapianto

Bando BRIC – INAIL 2018



**SICUREZZA SUL LAVORO,  
IN PRATICA**



**UNIMORE**  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI  
MODENA E REGGIO EMILIA

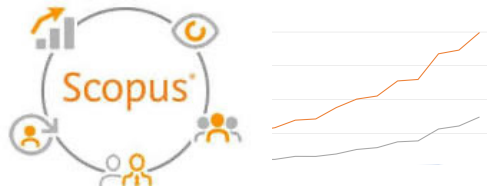
Lucia Botti – lucia.botti@unimore.it





# AGENDA

Laboratorio di studio degli esoscheletri a supporto dell'attività lavorativa



**Cosa sappiamo:**

Analisi dello stato dell'arte e della letteratura scientifica

**Cosa facciamo (e soprattutto faremo):**

Approccio sperimentale in laboratorio e sul campo







# COSA SAPPIAMO

E' UN TEMA MOLTO ATTUALE

## AREE D'INTERVENTO

- Coinvolgimento dei lavoratori
- Informazione (database o app) e formazione
- Ergonomia partecipativa
- Ausili ergonomici (per la movimentazione dei pazienti)
- Attrezzature ergonomiche
- Consulenza sanitaria e psicologica ai lavoratori
- Disponibilità di fisioterapisti
- **Esoscheletri**
  - Automazione processi
  - Analisi computerizzata dei movimenti e delle posture di lavoro
  - Squadre di lavoro miste (giovani e anziani)
  - Promozione salute
  - Modifiche e adattamenti sulle postazioni di lavoro



# COSA SAPPIAMO

*“Un dispositivo indossabile che aumenta, abilita, assiste e/o migliora il movimento, la postura o l'attività fisica, attraverso l'interazione meccanica con il corpo”*

*“A wearable device that augments, enables, assists, and/or enhances motion, posture, or physical activity, through mechanical interaction with the body.”*

**Exoskeleton:** consisting of hard and/or rigid structures

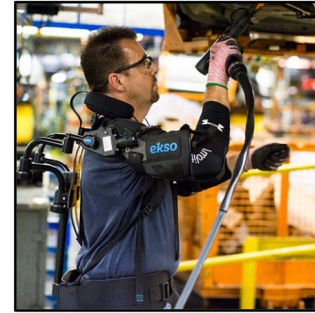
**Exosuit:** majority of the structure consists of soft and/or elastic structures

ASTM F48.91 Terminology

Gli esoscheletri (da eso, esterno) sono strutture che si applicano sul corpo per sostenere la muscolatura e la tenuta dell'apparato muscolo-scheletrico, soprattutto in caso di forti sollecitazioni.



paexo.com



eksobionics.com



suitx.com



laevo-exoskeletons.com



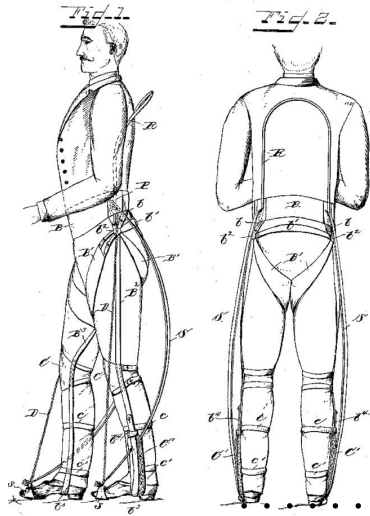


**UNIMORE**  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI  
MODENA E REGGIO EMILIA

Come la formica tagliafoglie... aumenta la sua forza per compiere imprese grandiose!

Lucia Botti – [lucia.botti@unimore.it](mailto:lucia.botti@unimore.it)

(No Model.) 4 Sheets—Sheet 1.  
N. YAGN.  
APPARATUS FOR FACILITATING WALKING, RUNNING, AND JUMPING.  
No. 420,179. Patented Jan. 28, 1890.

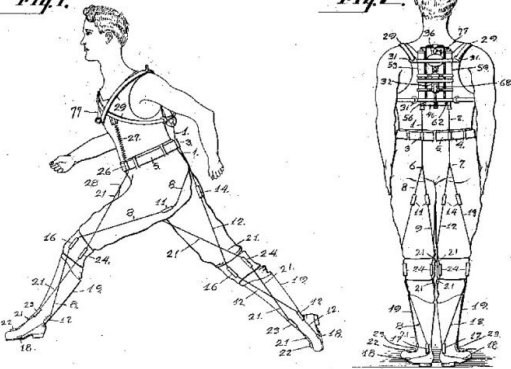


# COSA SAPPIAMO

## Fine 1800

Tra i primi a sperimentare questo sistema ci fu l'inventore russo Nichola Yagn: il suo esoscheletro funzionava grazie a una tecnologia ad aria compressa.

Fig. 1.



## 1917

Leslie C. Kelley brevetta un sistema indossabile con motori a vapore. Si rivela piuttosto pesante e poco pratico.



# COSA SAPPIAMO

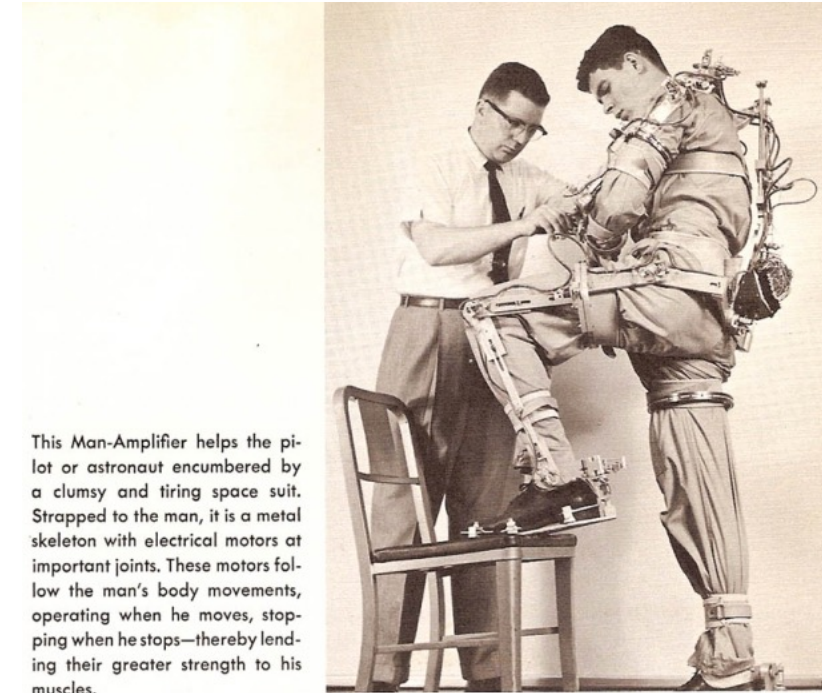
**1960**

Gli esoscheletri iniziano a essere più diffusi, con i primi impieghi per lo più nell'ambito dell'aeronautica militare.

Funzionano grazie a motori elettrici più piccoli e sistemi idraulici più affidabili.

**Oggi**

Gli esoscheletri sono più resistenti e leggeri, quindi più comodi da indossare. L'impiego nel settore militare, in molti casi sperimentale, è stato predominante fino a pochi anni fa, ma il loro impiego si sta diffondendo anche in ambito occupazionale.



Cornell Aeronautical Laboratories. Buffalo, NY (USA, 1960)



# COSA SAPPIAMO

*“Dalla collaborazione tra Ekso e Ford è nato EksoVest, un esoscheletro che ricorda almeno nel concetto di base l’idea di Yagn di oltre un secolo fa. Funziona sfruttando un **sistema idraulico per ridistribuire i carichi**, in modo che gli operai nella linea di montaggio possano compiere ripetuti movimenti faticando meno, soprattutto riducendo lo stress sulle articolazioni.”*

Il Post, 2018. “Gli esoscheletri per lavorare in fabbrica. A che punto sono le armature per alleggerire gli sforzi fisici degli operai e renderli meno usuranti”

Si parla di esoscheletri “attivi”, cioè con motori o altri sistemi per farli muovere, e esoscheletri “passivi”.



**UNIMORE**  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI  
MODENA E REGGIO EMILIA

Lucia Botti – [lucia.botti@unimore.it](mailto:lucia.botti@unimore.it)



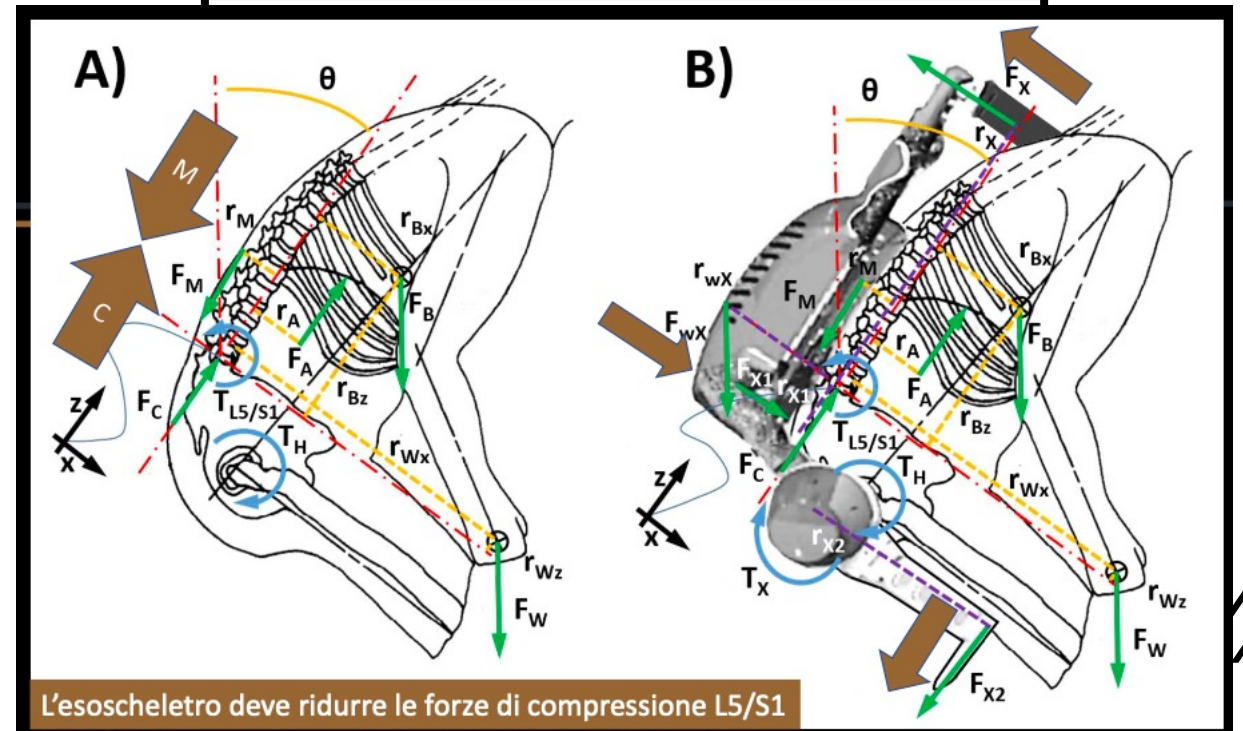
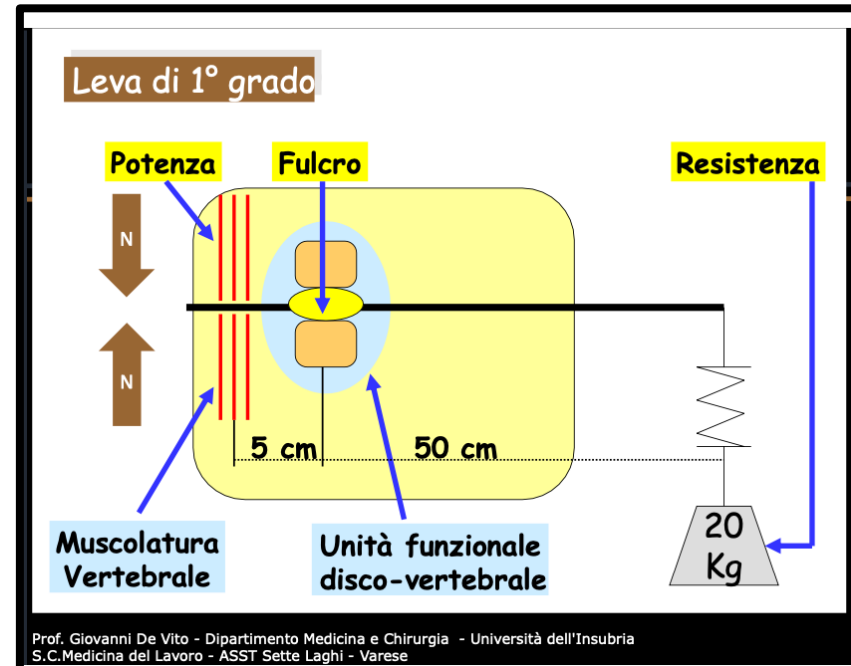
<https://www.ilpost.it/2018/01/06/esoscheletri-aziende/>

# ● COSA SAPPIAMO

L'esoscheletro in figura è di tipo "attivo" ossia che possiede dei servosistemi e dei motori che si attivano solo al bisogno, cioè quando percepiscono il carico.

I risultati delle prove sperimentali su 12 soggetti del test suggeriscono un effetto benefico per la schiena che corrisponde ad una riduzione apparente del peso sollevato di un fattore pari a massimo ~ 37,5%

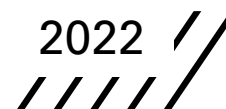
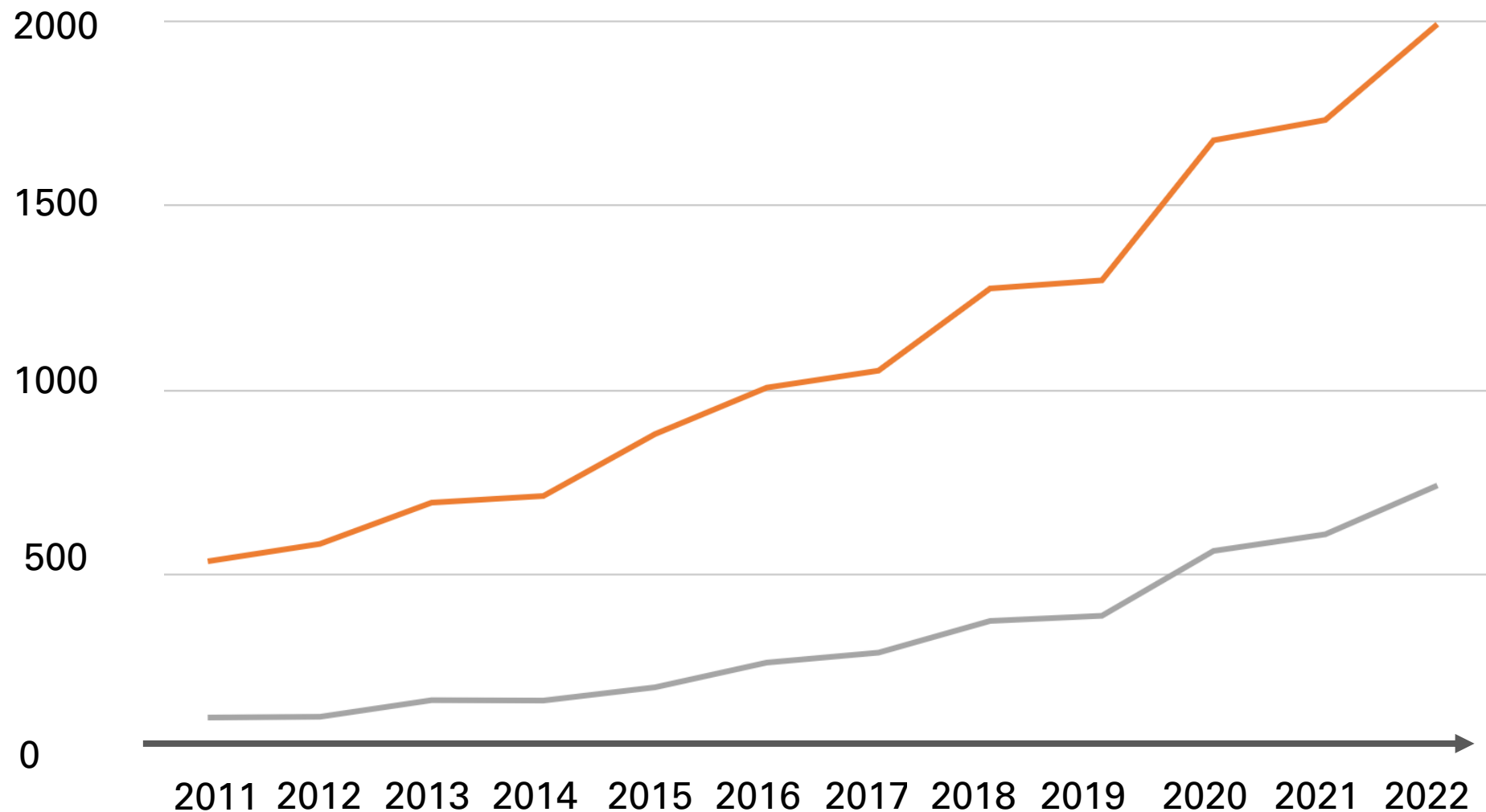
*Esoscheletri. Il futuro dell'ergonomia? Daniele Moresco. 2022*





# COSA SAPPIAMO

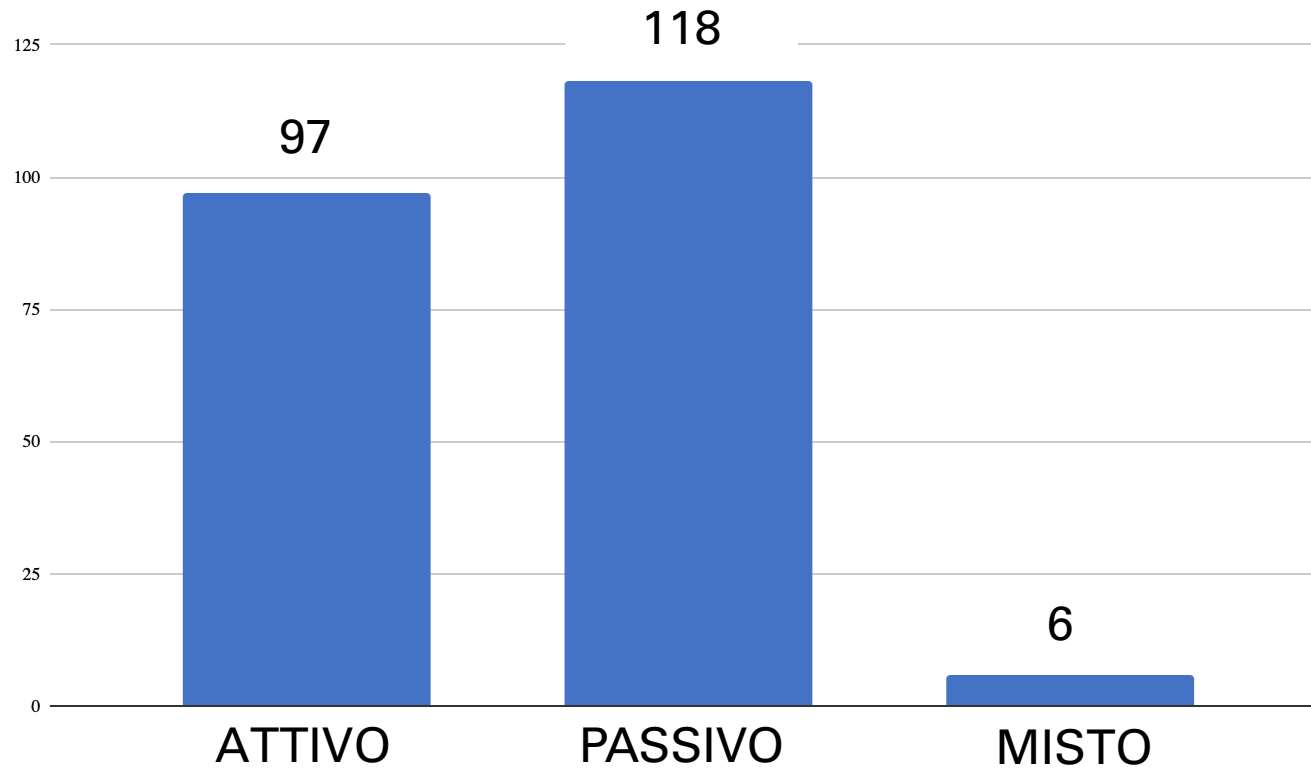
ScienceDirect  
(#exoskeleton)  
(+ #industrial)







# COSA SAPPIAMO



**N. ESOSCHELETRI**  
**221**  
(per l'ambito  
industriale,  
circa 78% prototipi )



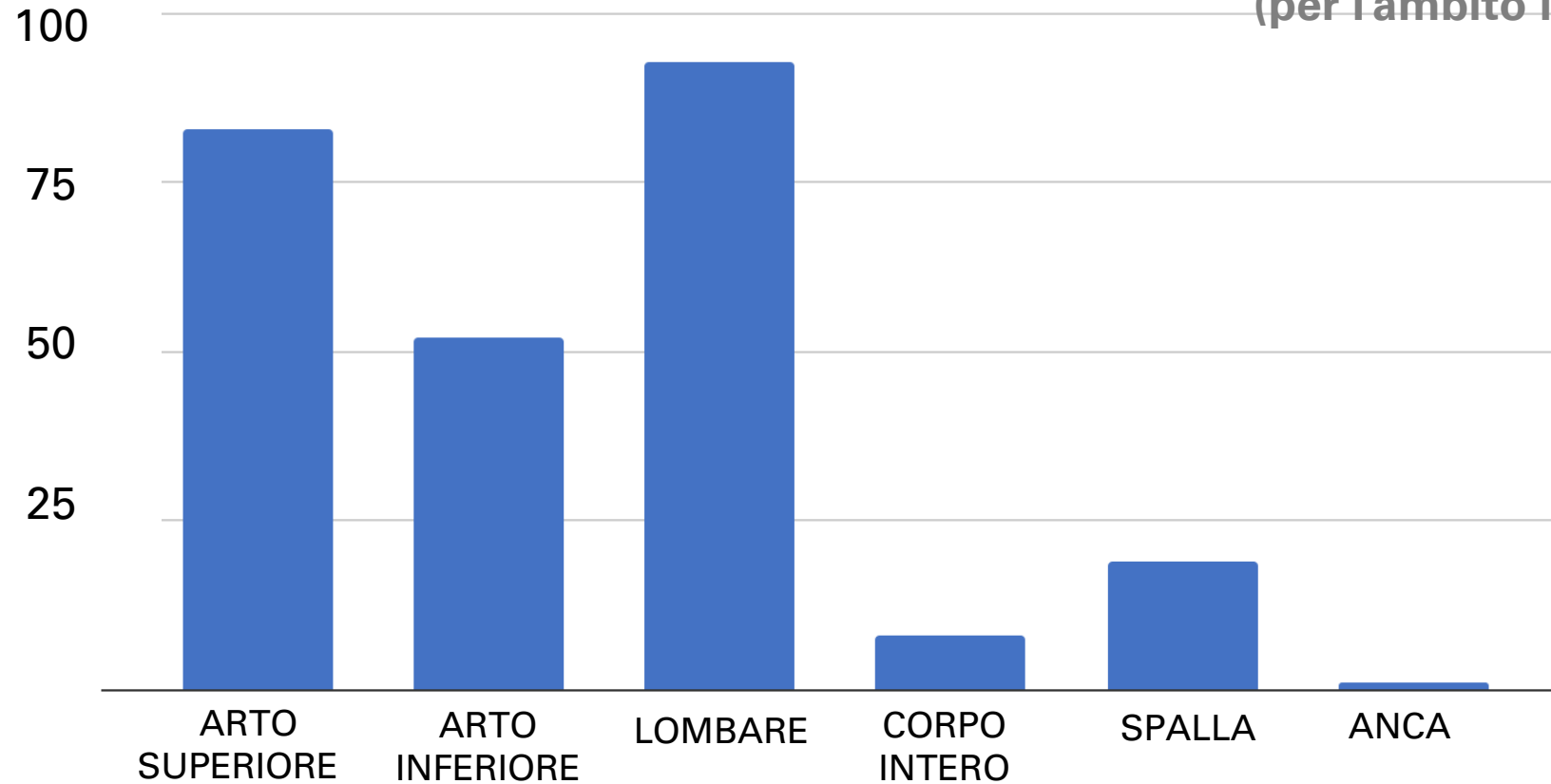


# COSA SAPPIAMO

**N. ESOSCHELETRI**

**256**

(per l'ambito industriale)



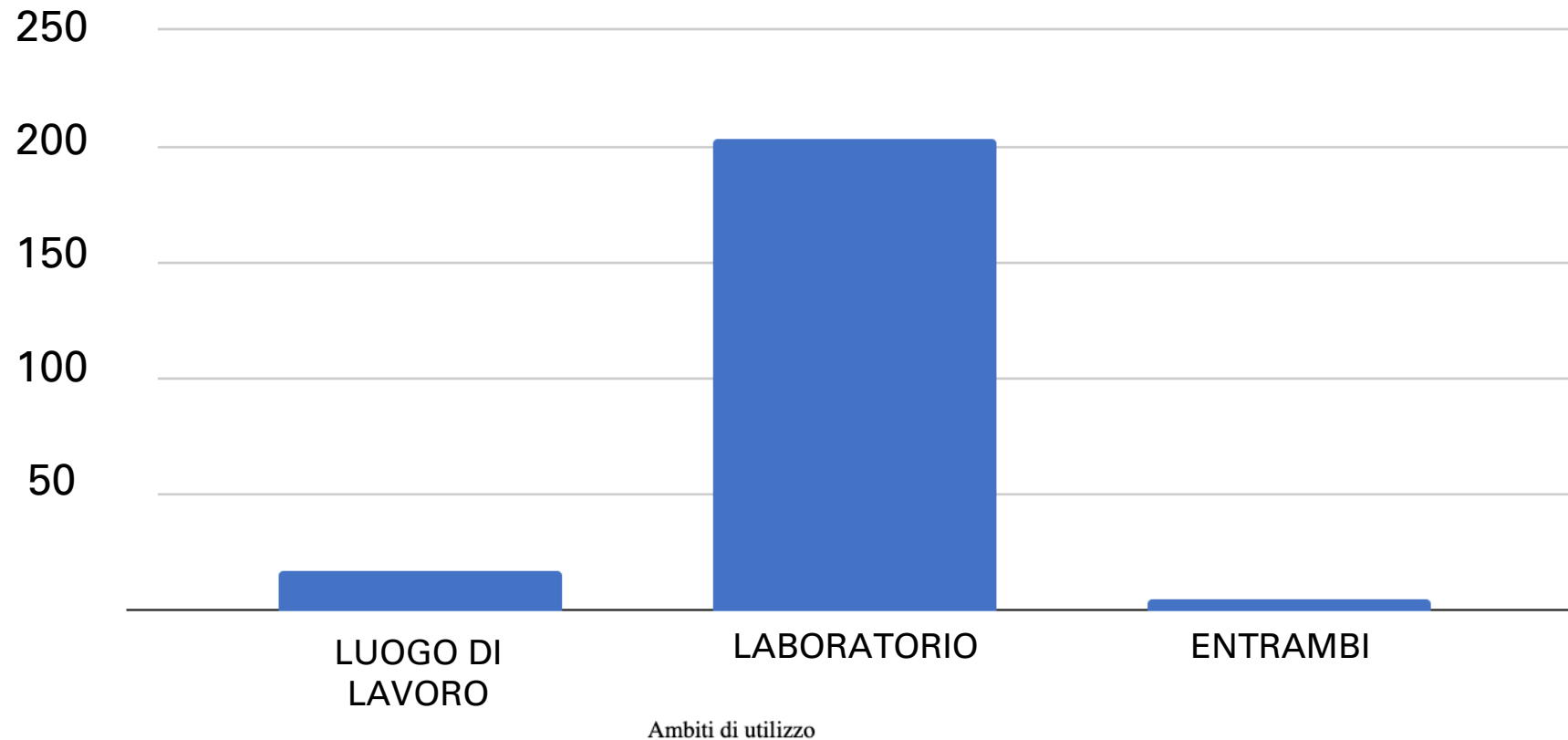


# COSA SAPPIAMO

**N. ESOSCHELETRI**

**225**

(per l'ambito industriale)



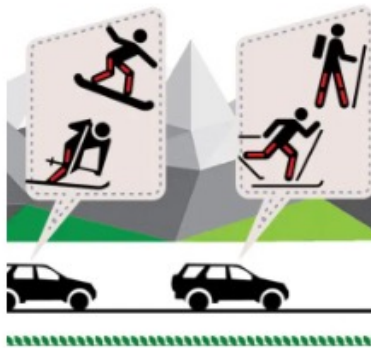


# COSA SAPPIAMO

## Exoskeleton Catalogue

“We strive to separate science fiction from reality.”

[exoskeletonreport.com](http://exoskeletonreport.com)



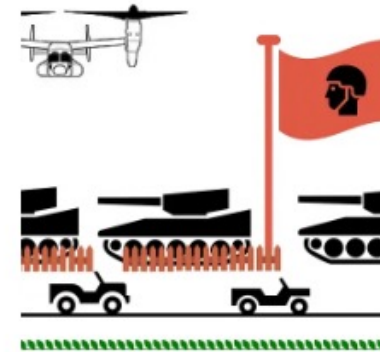
Consumer (7)



Industrial (48)



Medical (60)



Military (4)



# ○ COSA SAPPIAMO

exoskeletonreport.com



Arm Support (18)



Back Support (24)



Leg Support (4)



Power Glove (2)



Tool Holding  
Exoskeleton (3)

**Energy Source(s):** Passive, Active, Mixed

**Body part(s):** Upper extremity, Back/hips, Hand (grip), Lower extremity, Whole body

**Task(s):** Lifting, Holding, Overhead work, Carrying, Tool use

Nussbaum, 2022





# COSA SAPPIAMO

## Type:

- Passive Exoskeleton (34)
- Powered Exoskeleton (14)

## Body Area:

- Lower Back (23)
- Ankle (5)
- Elbow (3)
- Hand (2)
- Hip (4)
- Knee (7)
- Shoulder (18)
- Waist (1)

## Application:

- Augmentation (8)
- Back Support (19)
- Chairless-Chair (3)
- Injury Prevention (40)
- Personal Use (2)
- Pick & Carry (18)
- Rehabilitation (1)
- Tool-Holding (4)



Industrial (48)





# COSA SAPPIAMO

“Non esistono test standardizzati degli esoscheletri indossabili per quantificare i benefici ... e ... molto probabilmente ... non li avremo mai”

Prof. Giovanni De Vito, Medico del Lavoro. Università dell’Insubria, Varese

Home > Digital Transformation > L’esoscheletro che migliora la qualità del lavoro

Digital Transformation Imprese 4.0

Produzione | Comau

## L’esoscheletro che migliora la qualità del lavoro

Un operaio solleva il braccio 4.600 volte al giorno, quasi un milione di volte l’anno. Per ridurre l’affaticamento muscolare, migliorare il benessere degli operatori e quindi tutelare il benessere della forza lavoro da parte delle aziende, la robotica ha realizzato l’esoscheletro. Dapprima di solo utilizzo militare, oggi si sta diffondendo nei paesi industrializzati. Comau ha realizzato Mate con tecnologia passiva.

Redazione 20 Gennaio 2020



<https://www.impresedilnews.it/tecnologie-robotiche-esoscheletro-comau/>

Il primo esoscheletro è stato realizzato per utilizzo in **ambito militare nel 1965**: oggi gli esoscheletri si stanno diffondendo in modo sempre più ampio nel mondo della produzione supportando l’operatore e migliorando la qualità del lavoro.

## Esoscheletro da lavoro, più sicurezza e meno fatica

5 novembre 2019

Tempo di lettura: 3 min



<https://laborability.com/lavoro-del-futuro/piu-sicurezza-e-meno-fatica-sul-lavoro-con-gli-esoscheletri>  
Sono dispositivi indossabili che supportano la capacità

Leggi la rivista

# bollettino ADAPT.it

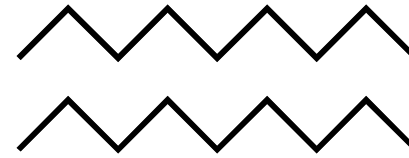
*Informarsi per*

BOLLETTINI ▾ OSSERVATORI PUBBLICAZIONI ▾ RASSEGNA STAMPA VIDEO ▾ NEWSLETTER EVENTI E CORSI ▾

## Gli esoscheletri per fini lavorativi: dispositivi indossabili per la prevenzione dei disturbi muscoloscheletrici nei luoghi di lavoro del futuro

<https://www.bollettinoadapt.it/the-future-of-eosh-10-gli-esoscheletri-per-fini-lavorativi-dispositivi-indossabili-per-la-prevenzione-dei-disturbi-muscoloscheletrici-nei-luoghi-di-lavoro-del-futuro/>

# EFFICACY VS EFFECTIVENESS



**Gli esoscheletri sembrano essere efficaci per ridurre lo sforzo fisico, ma ciò dipende dai compiti e dai lavoratori.**

- L'efficacia di un esoscheletro sembra essere specifica per un particolare compito.
- La vestibilità dell'esoscheletro e l'adattamento al corpo influenzano l'usabilità del dispositivo e la sua introduzione in ambito lavorativo.

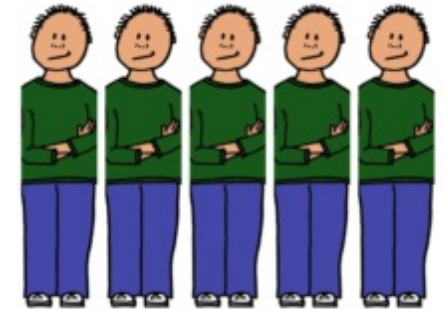
**La maggior parte dei risultati è da studi di laboratorio (efficacia nel breve periodo) mentre gli studi sul campo (efficacia sul lungo periodo) sono complessi!**

- Alcuni studi sul campo mostrano risultati meno soddisfacenti in termini di riduzione dello sforzo e soddisfazione degli utenti, rispetto agli studi condotti in laboratorio.
- Scarsità di report sugli effetti sul campo



**Risultati da studi di laboratorio non posso sempre essere trasferiti sul campo**

- I gesti lavorativi risultano più complessi e articolati delle prove sperimentali, che non sempre rappresentano un riferimento pienamente affidabile.







# USABILITÀ E PERCEZIONI DEGLI UTENTI

**Il maggior beneficio in termini di usabilità si rileva in posture statiche**, per esoscheletri di supporto agli arti superiori e nelle mansioni che prevedono l'uso delle braccia al di sopra del piano delle spalle.

→ l'effettivo campo di operabilità dell'esoscheletro entra in gioco solo quando la posizione delle braccia rispetto al busto dell'operatore supera i 90° di flessione-estensione (ISO 11226).

**Per compiti dinamici, come nella movimentazione manuale dei carichi (MMC), l'esoscheletro non sembra migliorare la performance del lavoratore**, ma anzi potrebbe ostacolarne la mobilità, determinando percezione di fastidio.

→ al momento la postura incongrua a carico della spalla nel caso di MMC leggeri ad alta frequenza con l'uso di questa attrezzatura non può essere rimossa dal calcolo degli indici di rischio

**I dati sulla possibile prevenzione di disturbi e patologie muscolo-scheletriche lavoro-correlate e su eventuali rischi cui gli esoscheletri possono esporre i lavoratori sono (ad oggi) limitati**



Esoscheletri. Il futuro dell'ergonomia? 2022 Daniele Moresco.  
Baldasseroni, Ambiente Lavoro 2022.

Industrial exoskeletons from bench to field: Human-machine interface and user experience in occupational settings and tasks. Frontiers 2022. Baldassarre et al.





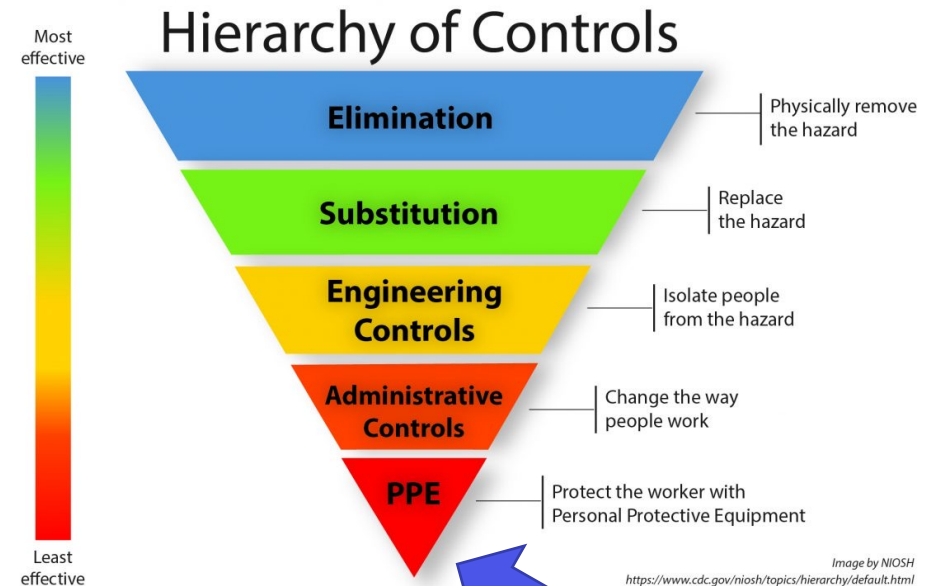
# COSA SAPPIAMO

La loro classificazione dipende fortemente dalla loro applicazione, progettazione e destinazione d'uso:

- è ipotizzabile che gli esoscheletri siano utilizzati **come dispositivi tecnici per facilitare i processi di lavoro.**
- se vengono utilizzati per migliorare la progettazione di un luogo di lavoro in cui sono necessarie **misure ergonomiche per proteggere i lavoratori da lesioni, devono essere considerati DPI.**

Pertanto, gli esoscheletri possono attualmente essere valutati solo utilizzando un approccio caso per caso.

In futuro, la valutazione degli esoscheletri dovrebbe essere integrata con l'approccio ergonomico tradizionale (**human-centred design**), poiché hanno un impatto sulle situazioni lavorative e sugli aspetti organizzativi.



The impact of using exoskeletons on occupational safety and health. Discussion Paper EU-OSHA 2019. Peters, M. and Wischniewski, S.





# COSA SAPPIAMO

Gli esoscheletri possono supportare i lavoratori nell'esecuzione di **compiti specifici** in **alcuni ambienti** di lavoro e **quindi possono aiutare a prevenire i WMSD**.

**Tuttavia, l'uso di esoscheletri occupazionali sul posto di lavoro è ancora piuttosto limitato:**

- **Poca conoscenza di questi dispositivi**
- **Poca conoscenza dei loro reali effetti preventivi sui WMSD**
- **Numerose sfide tecniche**
- **Problemi di accettabilità da parte dell'utente**

L'approccio HCD può essere uno strumento per garantire una diffusione sempre più capillare di questi sistemi, rispondendo in modo sempre più preciso alle **reali esigenze che gli utenti manifestano**.

Inoltre, l'utilizzo di esoscheletri attivi e passivi rende necessario lo **sviluppo di nuove metodologie per la valutazione del rischio biomeccanico**.

Occupational exoskeletons: wearable robotic devices to prevent work-related musculoskeletal disorders in the workplace of the future. Discussion Paper EU-OSHA 2020. Monica, Anastasi, Draicchio (INAIL).





# COSA SAPPIAMO

## OPPORTUNITA'

Ridurre le esigenze fisiche  
Migliorare le prestazioni per compiti specifici

## RISCHI

Aumentare le esigenze fisiche in altre regioni del corpo  
Sicurezza (posture, cadute, decondizionamento muscolare)

## SFIDE APERTE

Nessuna guida pratica all'utilizzo, selezione, adozione sicuri ed efficaci  
Prove limitate nel complesso  
Analisi degli effetti sui parametri fisiologici, psicosociali e biomeccanici  
Analisi degli effetti a lungo termine sul posto di lavoro





# CHI SIAMO



Centro di Ricerca Interdipartimentale sulla Sicurezza e Prevenzione dei Rischi (CRIS)  
XiLab – Laboratorio di ricerca di Intermech MO.RE.



Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIN)  
Dipartimento di Ingegneria dell'Energia Elettrica e dell'Informazione (DEI)

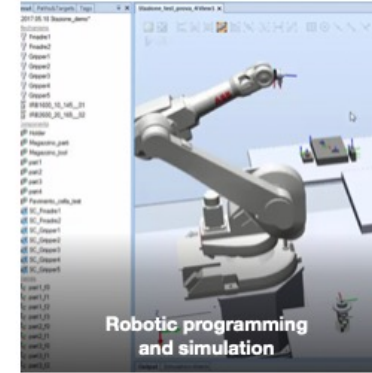


**UNIMORE**  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MODENA E REGGIO EMILIA

Lucia Botti – [lucia.botti@unimore.it](mailto:lucia.botti@unimore.it)



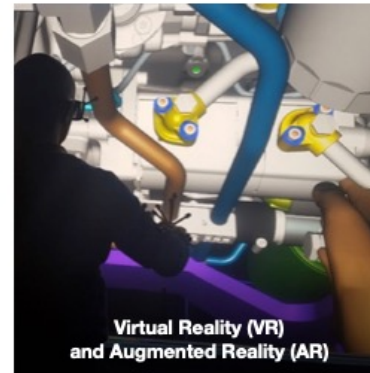
Innovative methodologies and tools for Industry 4.0



Robotic programming and simulation



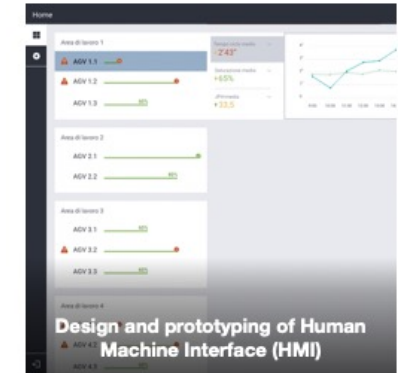
Advanced simulation to optimize the digital factory



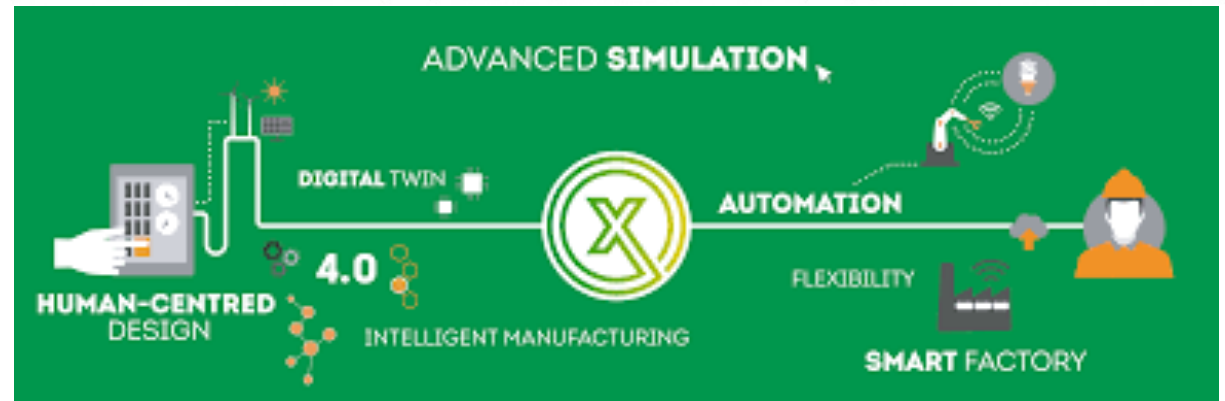
Virtual Reality (VR) and Augmented Reality (AR)



User research and UX design

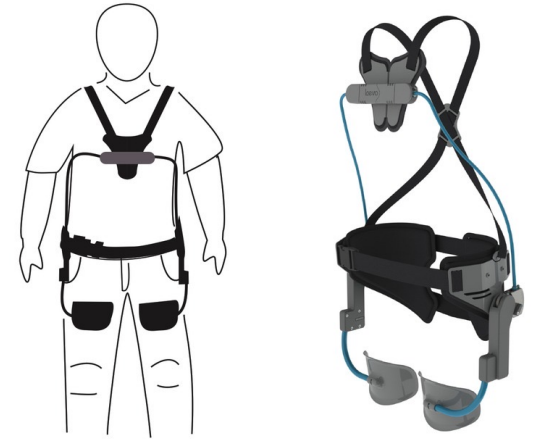


Design and prototyping of Human Machine Interface (HMI)



# OBIETTIVI DELL'INDAGINE

- Valutare l'impatto dell'utilizzo di tali dispositivi con la normale attività lavorativa e gli **aspetti psicologici** indotti sul lavoratore
- Sviluppo e applicazione delle metodologie di valutazione ergonomica con particolare attenzione alla **sicurezza e all'usabilità degli esoscheletri** in funzione delle loro **caratteristiche costruttive, del distretto corporeo** cui sono previsti in ausilio (arti inferiori, arti superiori, corpo intero, ...) e **dell'attività lavorativa** da svolgere.
- Definire **delle indicazioni pratiche per la selezione e l'utilizzo sicuro ed efficace** di queste attrezzature a supporto dello svolgimento delle attività lavorative



# STRUMENTI A DISPOSIZIONE

Analisi dei movimenti e delle posture con sistema ottico abbinato a sistema inerziale indossabile

- Rilevazione e tracciamento di un oggetto nel contesto spaziale
- Cattura del movimento del corpo umano in tempo reale

Analisi di baropodometria dinamica e biomeccanica con solette

- Valutazione del movimento naturale del cammino

Analisi della pressione superficiale con sensori di pressione forza

- Acquisizione della compressione esercitata da superfici solide su parti del corpo

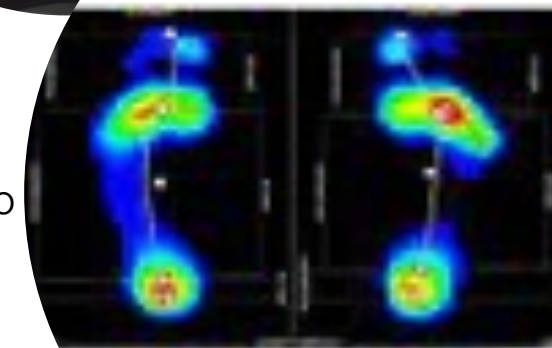
Elettromiografia bipolare superficiale con sonde wireless indossabili

- Acquisizione attività dei principali gruppi muscolari coinvolti durante il movimento specifico

Analisi del consumo metabolico con metabolimetro indossabile

- Stima del dispendio energetico necessario per compiere una determinata attività

Test di usabilità, comfort e percezioni degli utenti



# GRAZIE PER LA GENTILE ATTENZIONE

LUCIA BOTTI

lucia.botti@unimore.it



**UNIMORE**

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI  
MODENA E REGGIO EMILIA

---

**Centro di Ricerca Interdipartimentale sulla  
Sicurezza e Prevenzione dei Rischi - CRIS**