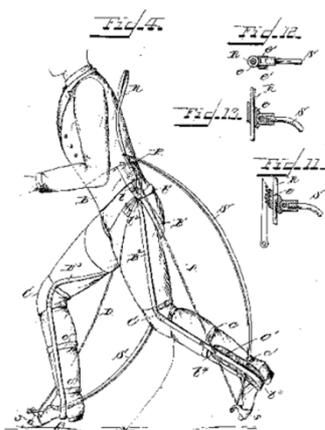




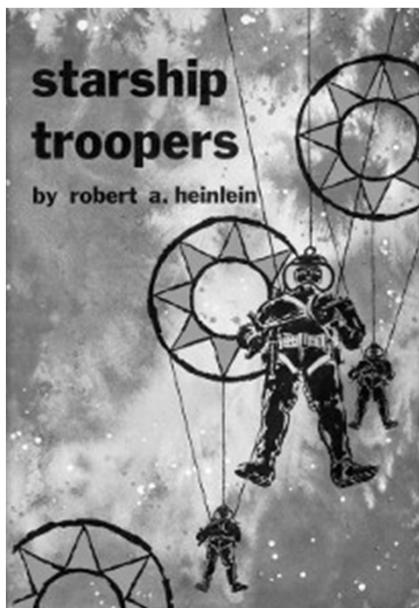
INDUSTRIA 4.0
health & safety
degli esoscheletri
industriali
Reggio Emilia
Ottobre 2018

Curiosità



La prima idea di supporto meccanico alla marcia nasce nel 1890 (Young).

Anche se regolarmente brevettato (U.S. patent # 440684A), l'esoscheletro viene sostanzialmente dimenticato fino al ...



L'idea di un **supporto esterno meccanizzato** che aumenti la forza muscolare umana viene preconizzata nel 1959 dallo scrittore di fantascienza **Robert Heinlein**.

1959





Già pochi
anni dopo
(1962), l'idea
di Heinlein si
trasforma in
qualcosa di
concreto.

**Progetto
Hardiman**

General
Electric Inc.
(1968)

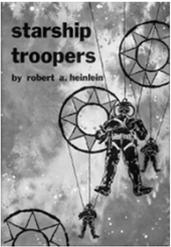
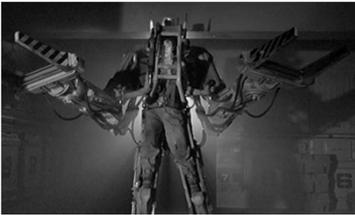


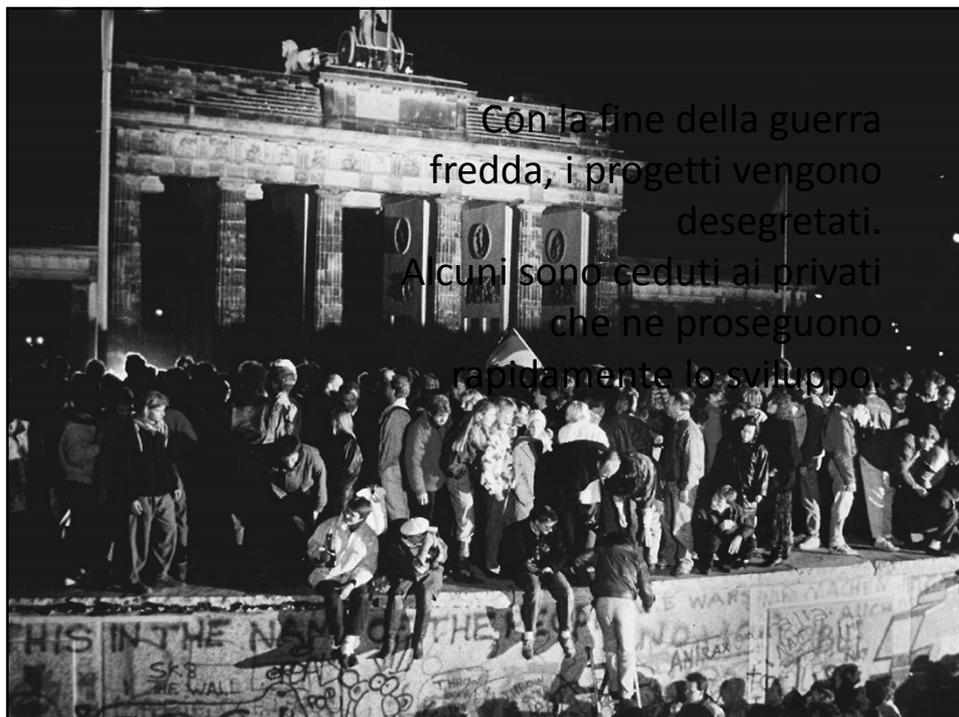
Il progetto Hardiman
fu **ufficialmente
bloccato** nel 1970
perché...

Nonostante consentisse di
sollevare fino a 700 kg, il
**macchinario completo
pesava 1.2 tonnellate**

I comandi primitivi
**mettevano a rischio
l'operatore** ogni volta che
veniva accesso

Le primitive batterie
disponibili obbligavano a
mantenere il macchinario
costantemente collegato alla
rete elettrica.

		
<p>Anni 50'</p>	<p>Anni 60'</p>	<p>Anni 70'-80'</p>
<p>Esoscheletri come elemento narrativo della fantascienza classica</p>	<p>Il progetto HARDIMAN viene abbandonato nel 1970 per eccessivi rischi</p>	<p>Ufficialmente, degli esoscheletri non si parla più se non nei film di fantascienza. TUTTAVIA ...</p> <p>... tuttavia sia l'esercito USA che quello sovietico (a partire dallo stesso progetto HARDIMAN) proseguono lo sviluppo di nuovi esoscheletri.</p>

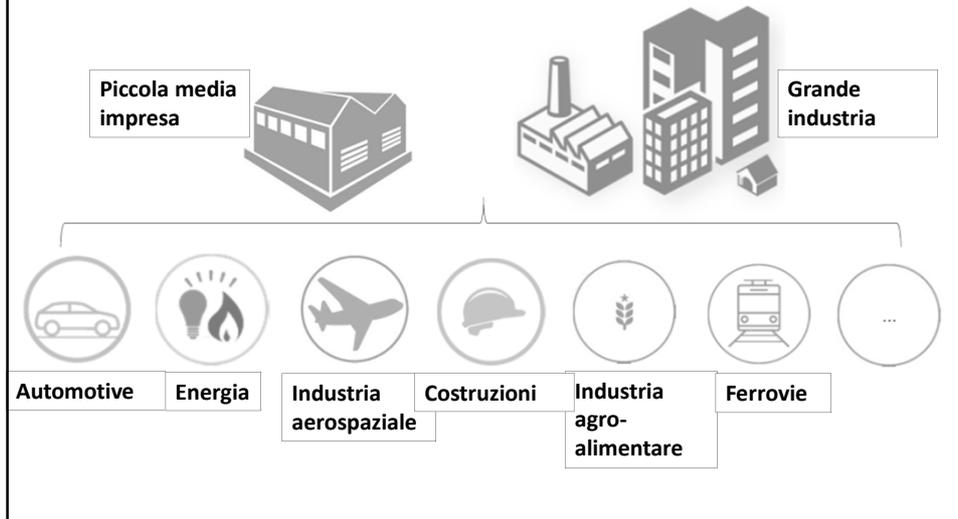




PREMESSA

- **Fra 1990 e 2010**, sono state pubblicate complessivamente 521 ricerche biomediche relative agli esoscheletri. **Nel solo 2017, sono state 362.**
- La maggior parte delle evidenze scientifiche disponibili riguarda gli **esoscheletri riabilitativi** (rewalker), in rapporto di **10 : 1** con gli esoscheletri industriali.
- Nel seguito parleremo **solo ed esclusivamente** degli esoscheletri ad uso **industriale**.

Dove possiamo (potremmo) trovare oggi gli esoscheletri?



CLASSIFICAZIONE (almeno proviamoci)



CLASSIFICAZIONE

(almeno proviamoci)



CLASSIFICAZIONE

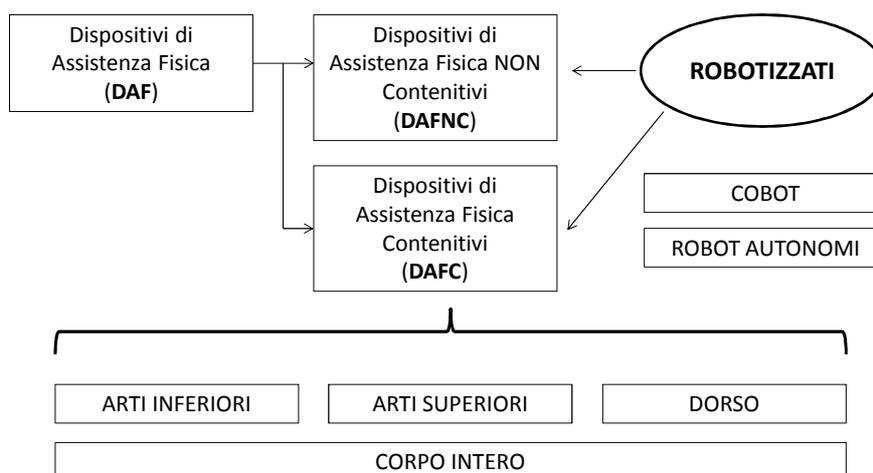
e quindi definizione: cos'è un esoscheletro

- Gli esoscheletri sono parte delle c.d. «**nuove tecnologie di assistenza fisica al lavoratore**», che comprendono *un insieme di tecnologie applicate in ambito lavorativo con lo scopo di garantire un **supporto fisico all'utilizzatore** nell'ambito dell'esecuzione di un compito, tramite una **compensazione degli sforzi** e/o **incremento delle sua capacità motorie*** (INRS 2018; BAuA 2018)
- Gli esoscheletri in particolare sono «*sistemi meccanici o meccanizzati indossati dai lavoratori e finalizzati a garantire un'assistenza fisica nell'esecuzione di un compito lavorativo, **compensando i suoi sforzi** o **aumentandone le capacità motorie***» (INRS 2018)
- Wearable mechanical structures that **enhance the strenght** of a person (CDC / NIOSH 2018)

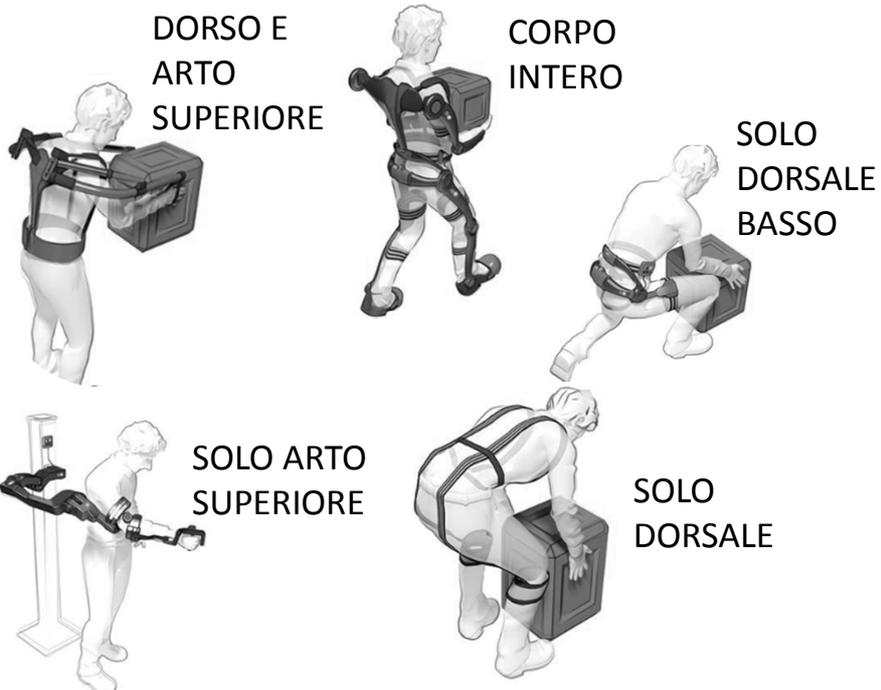
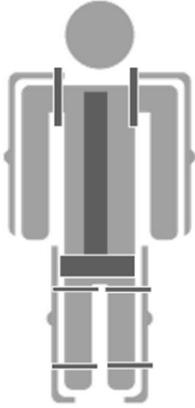
PREMESSA

- **Non esiste un modello di esoscheletro standard:** ogni produttore ha una linea di più modelli di esoscheletri; alcune grandi compagnie (e.g. Amazon, Poste francesi...) si sono dotate di modelli «costruiti in casa» etc.
- **Ogni esoscheletro viene progressivamente adattato all'operatore ed alla mansione:** standardizzare i risultati di qualsiasi studio è particolarmente difficile.
- **Non è possibile riportare in ambito lavorativo i dati dei «rewalker» in quanto sono deliberatamente diversi** (in particolare, privilegiano l'azione pre-programmata e meccanica).

CLASSIFICAZIONE



CLASSIFICAZIONE

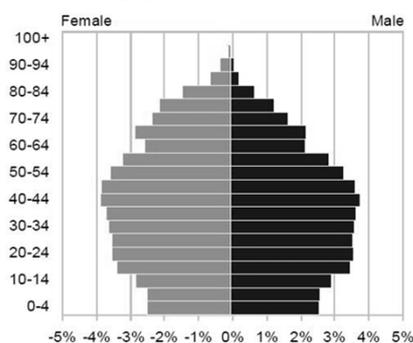


Quali le aspettative delle aziende?

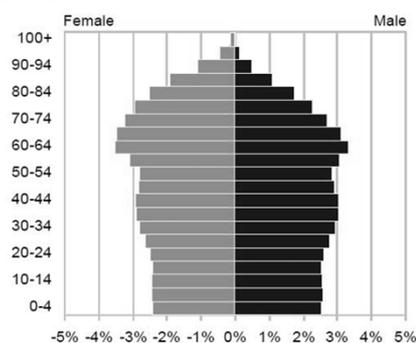
- Nel corso del 2017, nell'ambito dell'inchiesta SUMER (*Surveillance Médicale des Expositions des salariés aux Risques professionnels*) l'INRS ha indagato le **attitudini** delle aziende francesi verso gli esoscheletri;
- Le finalità per la loro introduzione sono:
 - Ridurre l'impatto delle patologie muscoloscheletriche
 - Ridurre il carico fisico dei lavoratori
 - Aumentare la capacità di carico lavorativo

In altre parole gli **esoscheletri** sono **funzionali all'industria ...**

Figure 1: Population pyramids for Europe
(a) 2005, total population 729.4m



(b) 2050, total population 691m



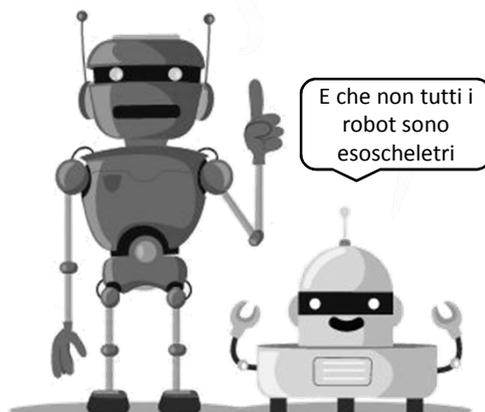
Source: UN World Population Prospects, 2008 Revision.

... per mantenere **più a lungo al lavoro**
la popolazione attiva (in teoria...)



[1] Gli Esoscheletri sono un tipo particolare di Robot?

Vorremmo precisare che non tutti gli esoscheletri sono robot



ATTENZIONE A NON CONFONDERE ROBOT ED ESOSCHELETRI

Collaborazione diretta

Robot e lavoratore collaborano nella
stessa attività negli stessi spazi.



Condivisione indiretta

Robot e lavoratore collaborano nella
**stessa attività in fasi distinte e
contigue.**



Condivisione degli spazi

Robot e lavoratore collaborano nella
**stessa attività in fasi distinte e
separate nello stesso spazio
lavorativo.**



PRIMA DI TUTTO, ROBOT ED ESOSCHELETRI NON SONO UGUALI



Questo è un **COBOT** o **robot collaborativo**.
Si può definire come di seguito (IFA 2018):

*Collaborative robots are complex machines which **work hand in hand with human beings**. In a shared work process, they support and relieve the human operator*



Questo è un **esoscheletro**.

L'**esoscheletro** impone:

- 1) Che il salariato lo «**indossi**»
- 2) Che il comando delle azioni sia del salariato, e che **senza un suo input non vi sia azione**

INOLTRE GLI ESOSCHELETRI NON SONO SEMPRE ROBOTIZZATI

- Esoscheletri senza supporto fisico / meccanico
- Esoscheletri a **recupero** di energia cinetica
 - l'esoscheletro non ha una fonte di energia propria
 - assorbe l'energia cinetica del lavoratore (e.g. mentre si piega) e la restituisce agevolandone il compito (e.g. mentre si rialza)
- Esoscheletri **motorizzati**
 - **ad attuazione meccanica:** il sistema ha un programma di funzionamento pre-impostato; il funzionamento dei meccanismi per quanto individualizzabile è temporizzato e **si impone sull'attività muscolare del lavoratore.**
 - ad attuazione elettrica: il sistema rileva l'energia elettrica all'interno delle conduzioni nervose ed **attiva le proprie componenti in modo da accompagnare l'attività muscolare del lavoratore.**

Alcuni esoscheletri **non** contengono alcun **componente meccanico** (materiale a memoria di forma)





Esoscheletro motorizzato e robotizzato.



Esoscheletri ad energia cinetica, non motorizzati (cioè non robotizzati).



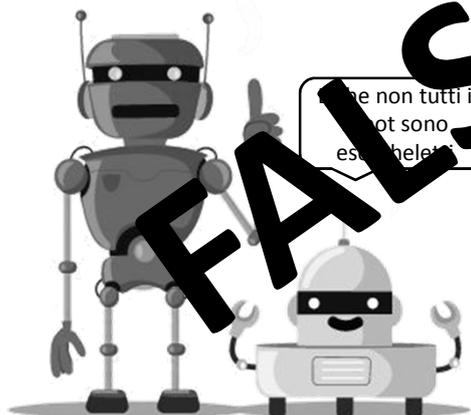
Esoscheletro non robotizzato né meccanizzato («piattaforma mobile»).

Esoscheletro robotizzato elettroattuato con funzione di «piattaforma mobile»



[1] Gli Esoscheletri sono un tipo particolare di Robot?

Vorremmo precisare che non tutti gli esoscheletri sono robot



[2] Gli esoscheletri eliminano i disturbi muscolo scheletrici?

La schiena mi fa male lo stesso, ma a differenza dell'iPhone fa anche il caffè...



I primi risultati erano molto promettenti...



Attività muscolare

- 10 à - 40 %

Abdoli Eramaki et al., 2006 / 2008
Bosh et al., 2016

DORSO



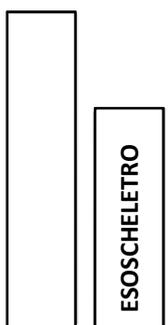
Diminuzione fatica

Godwin et al., 2009
Lotz et al., 2009
Bosh et al., 2016



Diminuzione compressione

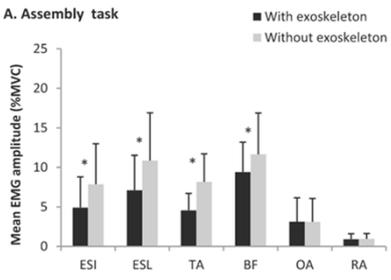
Abdoli Eramaki et al., 2007



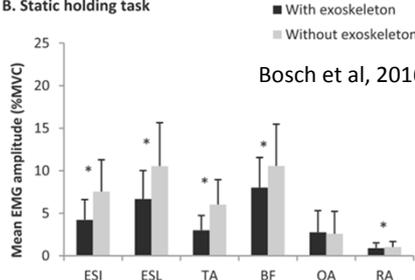
ESOSCHELETRO

I primi risultati erano molto promettenti...

A. Assembly task



B. Static holding task

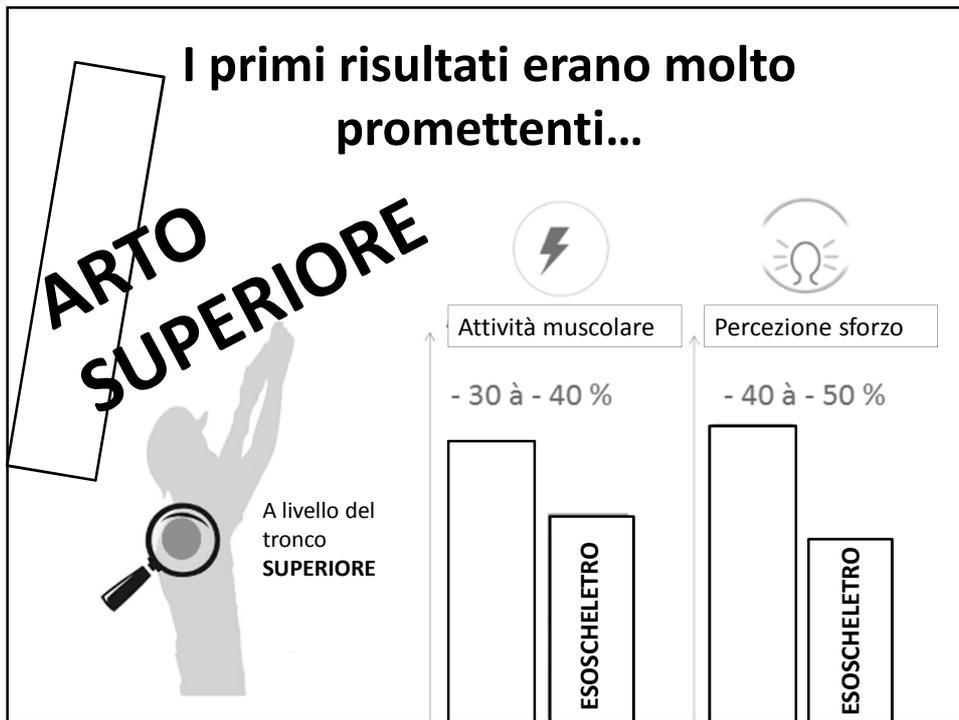


Legend: ■ With exoskeleton, ■ Without exoskeleton

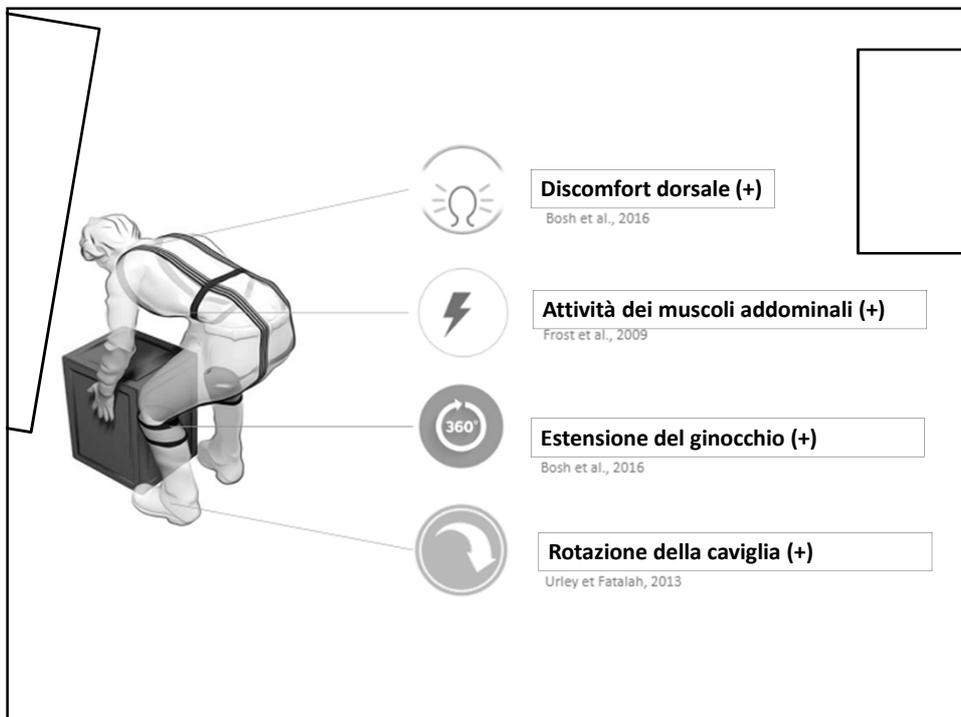
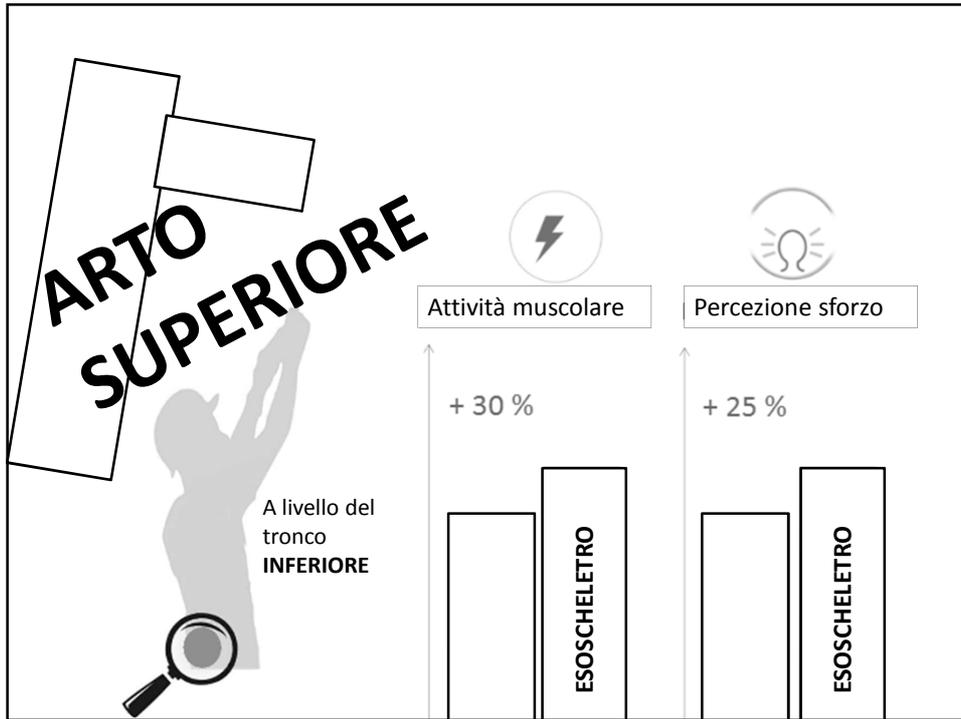
Bosch et al., 2016

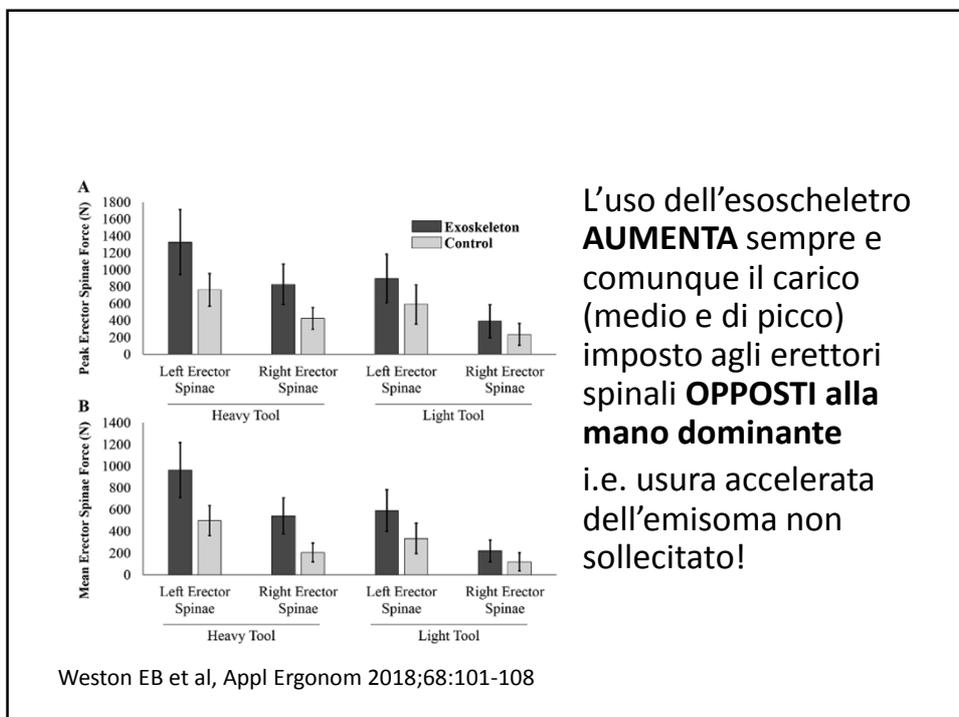
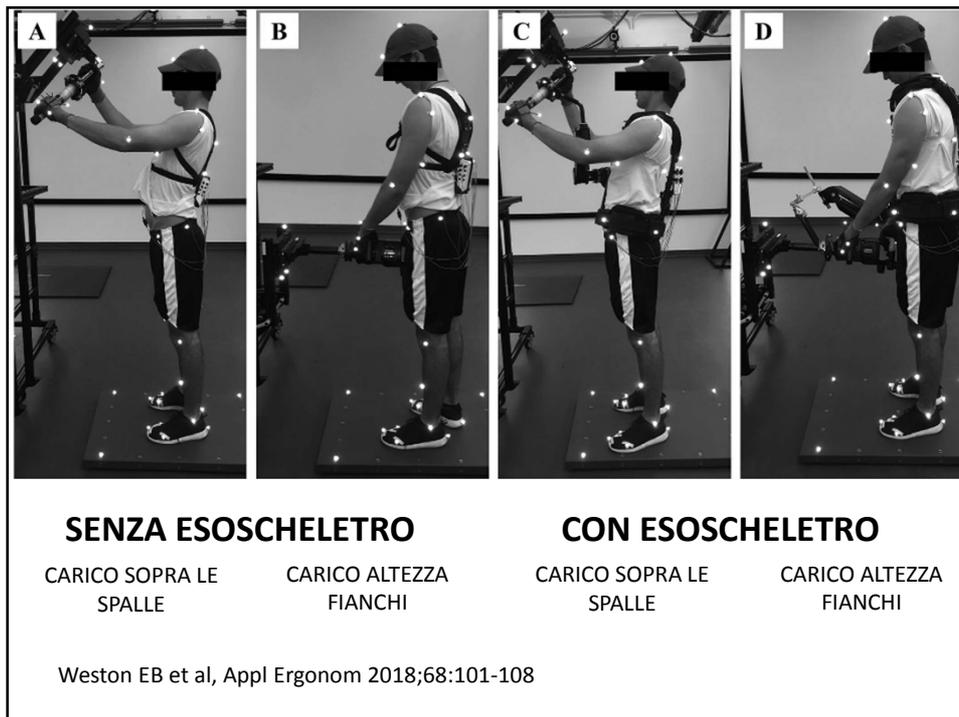
ESI Erector Spinae Iliocostalis
 ESL Erector Spinae Longissimus
 TA Trapezius pars ascendens
 BF Biceps femoris
 OA Obliquus abdomenis
 RA Rectus abdomenis

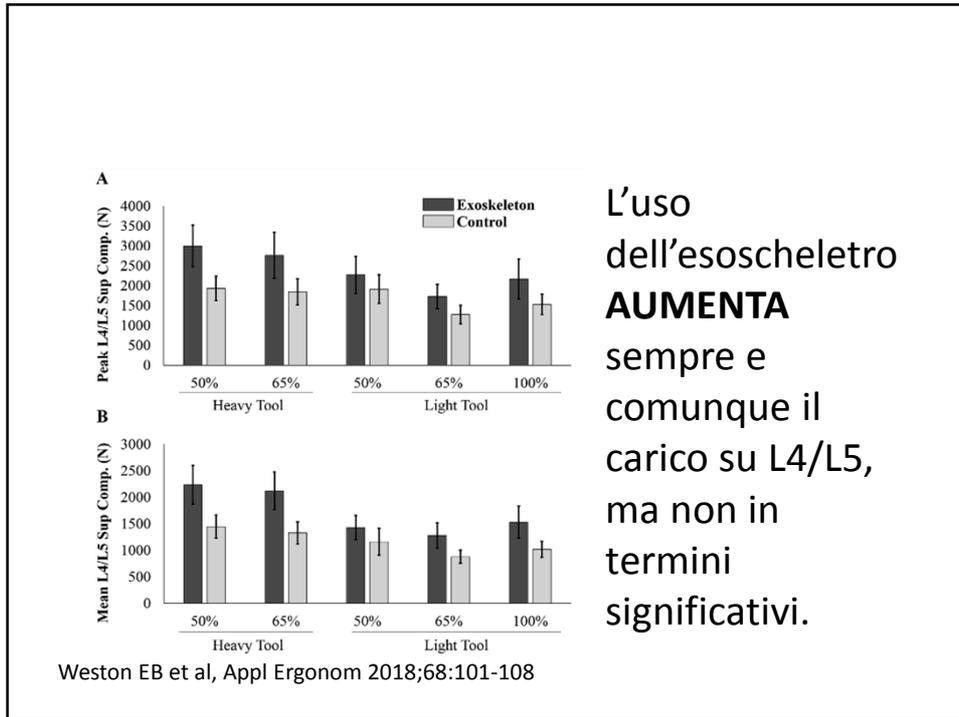
In generale, l'uso dell'esoscheletro dorsale sembra ridurre il carico lavorativo muscolare del dorso e della spalla



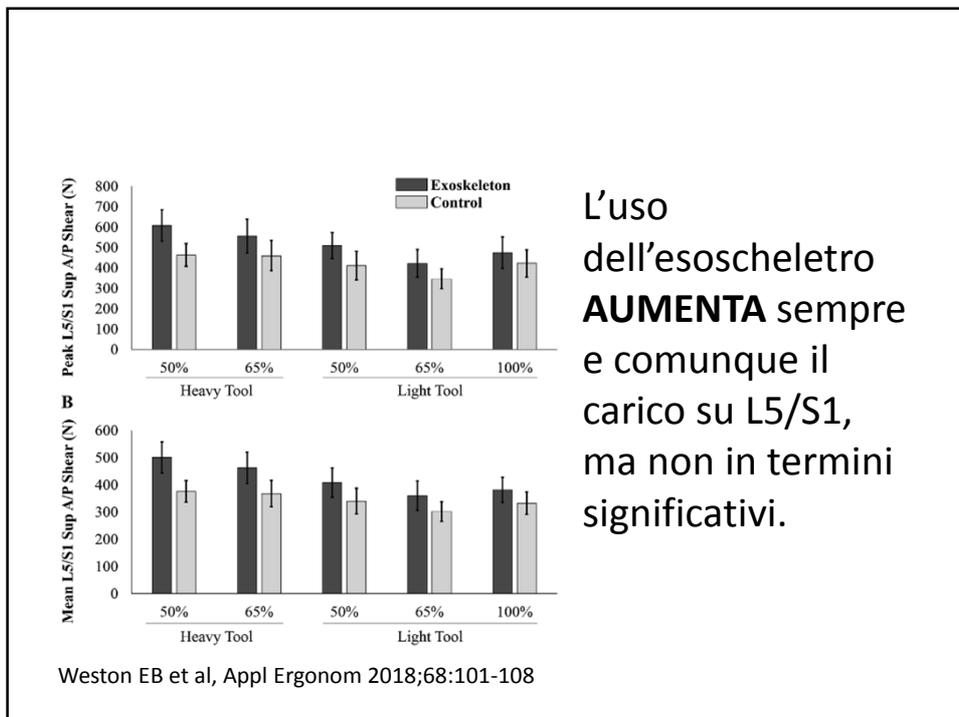
... TUTTAVIA ...







L'uso dell'esoscheletro **AUMENTA** sempre e comunque il carico su L4/L5, ma non in termini significativi.



L'uso dell'esoscheletro **AUMENTA** sempre e comunque il carico su L5/S1, ma non in termini significativi.

... while exoskeletal interventions offer the potential to mitigate bio-mechanical risk to the shoulders resulting from the use of heavy hand tools in occupational environments, the results of this study suggest that use of this particular exoskeleton may come at some cost to the low back...

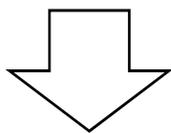
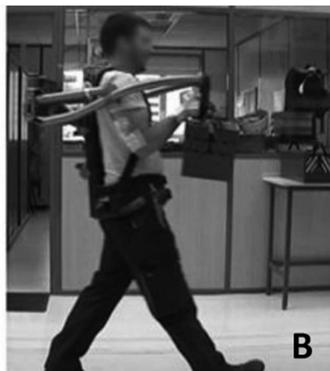
Weston EB et al, Appl Ergonom 2018;68:101-108

[2] Gli esoscheletri eliminano i disturbi muscolo scheletrici?

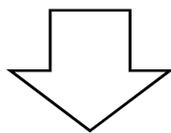
La schiena mi fa male lo stesso, ma a differenza dell'iPhone fa anche il caffè...



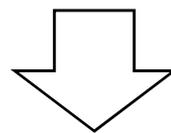
[3] Gli esoscheletri riducono sempre lo sforzo fisico



LIFTING

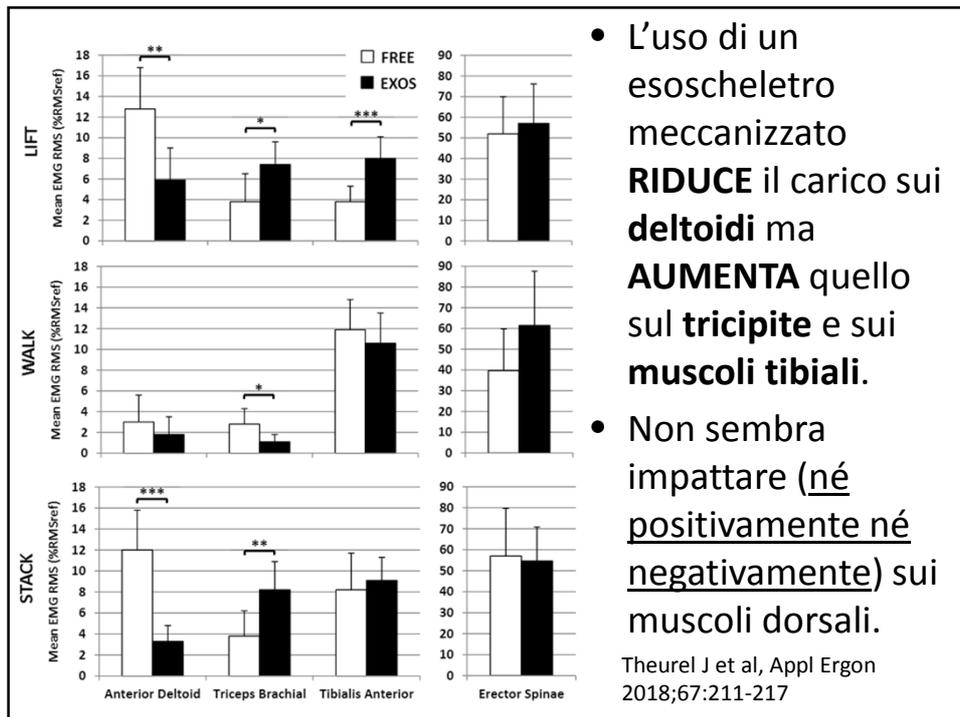


WALKING

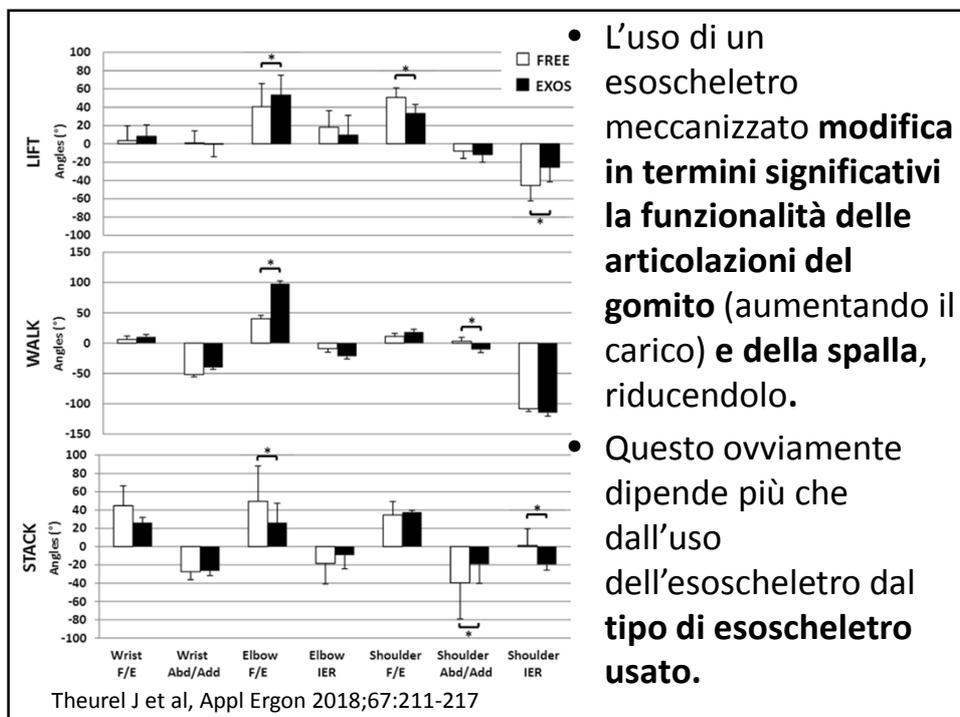


STACKING

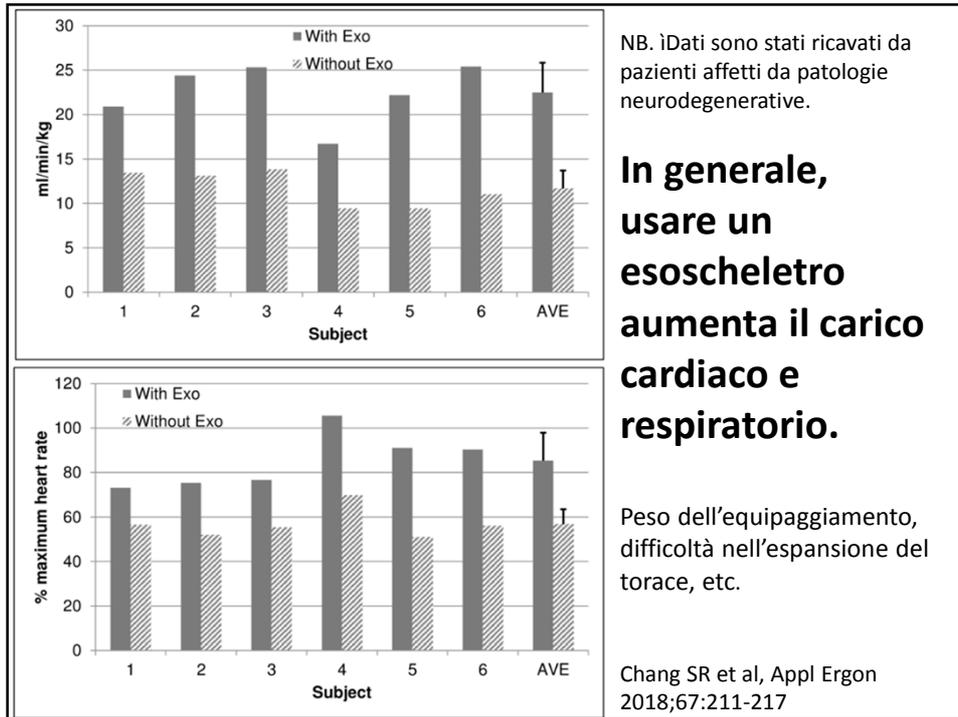
Theurel J et al, Appl Ergon 2018;67:211-217



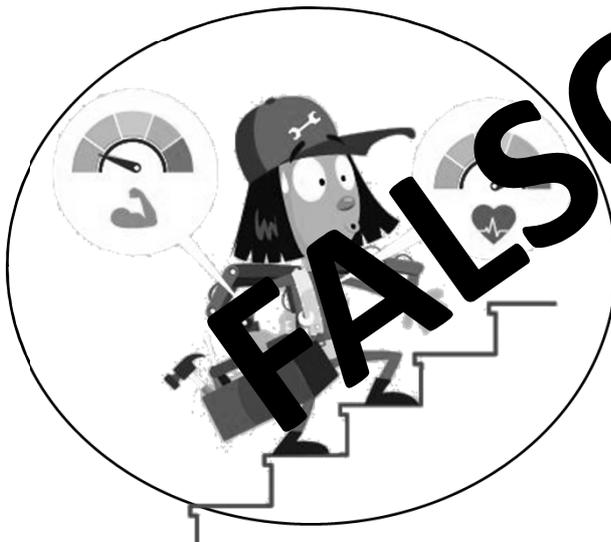
- L'uso di un esoscheletro meccanizzato **RIDUCE** il carico sui **deltoidi** ma **AUMENTA** quello sul **tricipite** e sui **muscoli tibiali**.
- Non sembra impattare (né positivamente né negativamente) sui muscoli dorsali.



- L'uso di un esoscheletro meccanizzato **modifica in termini significativi la funzionalità delle articolazioni del gomito** (aumentando il carico) **e della spalla**, riducendolo.
- Questo ovviamente dipende più che dall'uso dell'esoscheletro dal **tipo di esoscheletro usato**.

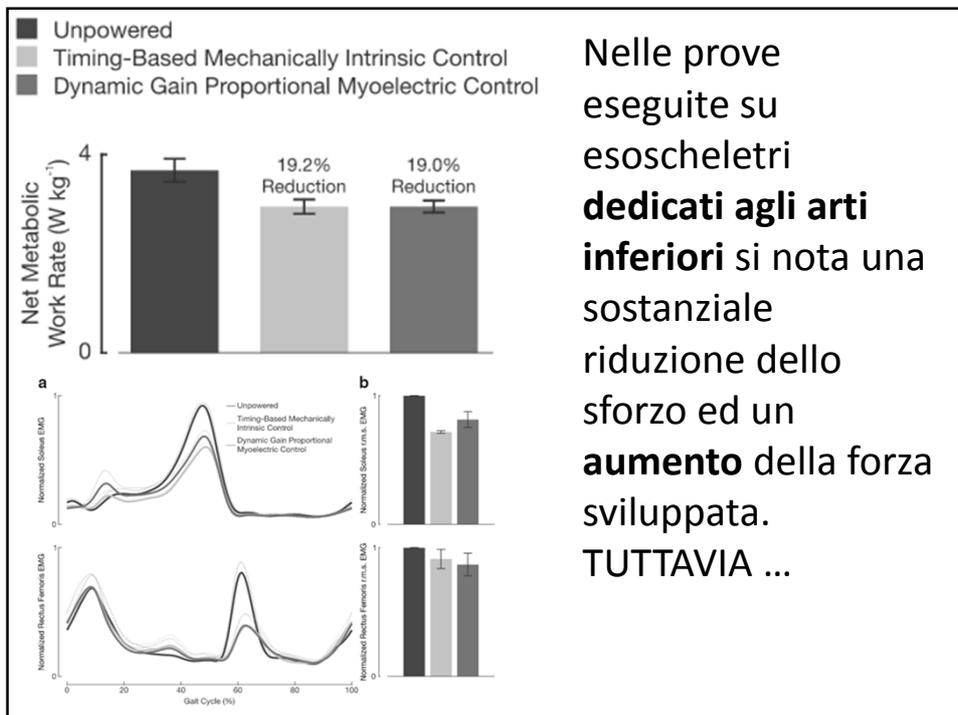


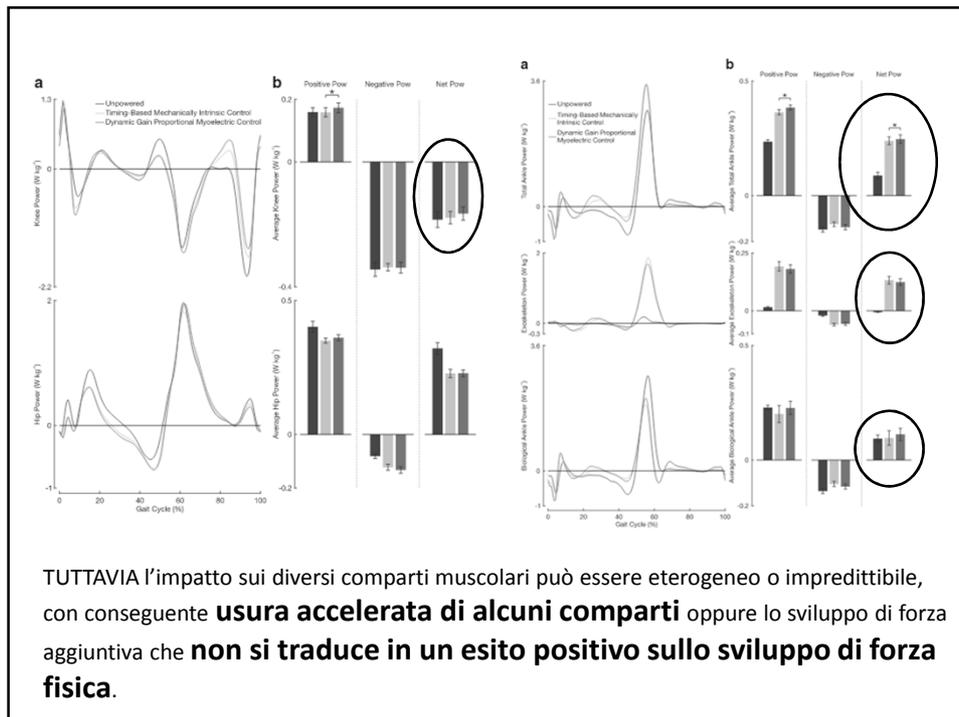
[3] Gli esoscheletri riducono sempre lo sforzo fisico



[4] Gli esoscheletri aumentano la forza del lavoratore che li usa

Non so spiegarti come, ma ogni volta che lo indosso... mi trasformo





NON SOLO

Evidenze parziali suggeriscono che l'uso regolare degli esoscheletri **riduca l'allenamento del muscolo cardiaco.**

In altre parole, l'uso regolare degli esoscheletri **potrebbe** (necessario follow-up più lungo) **accelerare l'invecchiamento cardiaco per paradossale sedentarietà** con conseguente incremento di rischio per patologie cardiovascolari.

[4] Gli esoscheletri aumentano la forza del lavoratore che li usa

Non so spiegarti come , ma ogni volta che lo indosso... mi trasformo



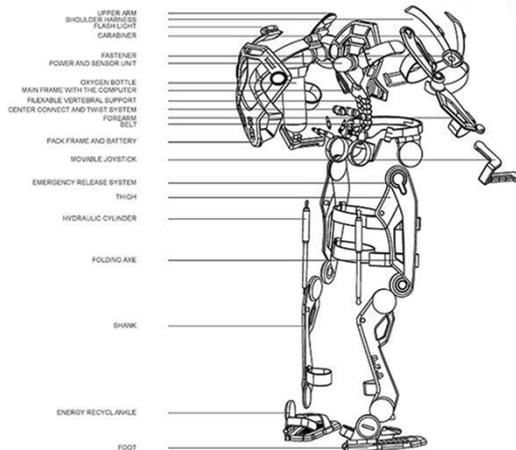
[5] Gli esoscheletri sono adatti a tutti i lavoratori

Lo giuro su Macron, sono dimagrito!

Sì, sì, dicono tutti così...

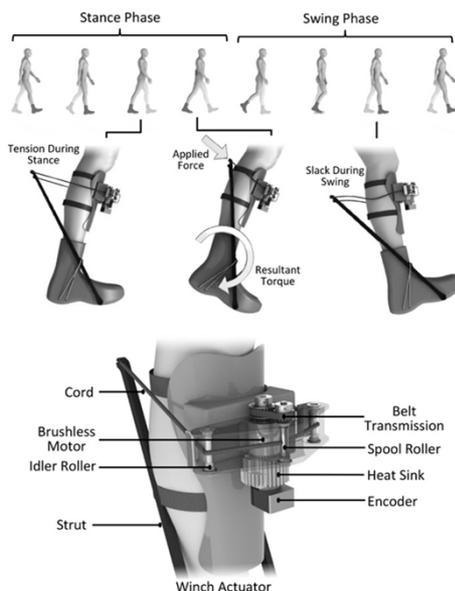


Non è solo una questione di comodità!



Le varie componenti, per quanto snodate, devono essere adeguate all'utente prima che questo sia adibito (i.e. un esoscheletro per ogni operatore, non sono direttamente intercambiabili come i muletti)

Non è solo una questione di comodità!



Poiché alcune componenti sfruttano meccanismi di leva, se l'esoscheletro non è adeguato alle dimensioni corporee si rischia un effetto paradossale (i.e. riduzione di forza)

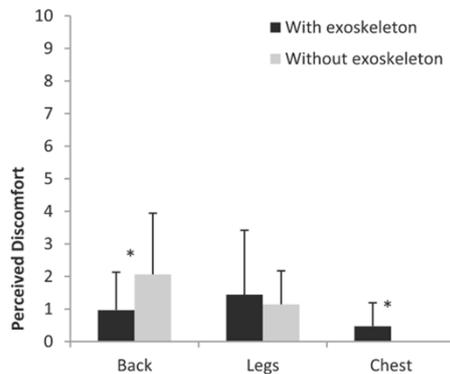
[5] Gli esoscheletri sono adatti a tutti i lavoratori



[6] Gli esoscheletri non comportano alcun rischio per i lavoratori



L'uso dell'esoscheletro può determinare **esteso discomfort** del torace e della schiena



Questo dipende
SIA dal **PESO**
delle
componenti che
DA POSSIBILI
IRRITAZIONI
CUTANEE



L'uomo è in grado di muoversi anche in assenza di gravità perché i terminali nervosi **proiettano a livello cerebrale** lo stato di tensione delle **fibre** e dei **tendini**. Insieme alla **rappresentazione visiva** dell'ambiente, questo costruisce nel cervello un'immagine virtuale che prende il nome di «**homunculus**» (sensitivo)

E poi c'è il problema della propriocezione...



Homunculus di Spencer-Sutton

- L'esoscheletro diventa un **ingombro** costante del corpo in quanto lo estende.
- L'operatore **non ha però percezione immediata dell'ingombro**.
- **Aumento** rischio di traumi e impatti.
- **Aumento** carico psicologico sul lavoratore.



... per farla molto breve ...

Senza contare l'equilibrio!

As reported by de Looze et al. (2015) **increases in leg muscle activity have been reported for some devices** (e.g. Barret and Fathallah, 2001; Ulrey and Fathallah, 2013); this may occur because the “external forces applied by the [exoskeleton] equipment needs to be counteracted to retain balance...”. **Can this increase in leg muscle activity contribute to lower extremity fatigue and increased risk for loss of balance?**
Correspondingly, are fall risks increased because of this possible leg fatigue and loss of balance?



- Un soldato con esoscheletro arti inferiori può portare fino ad 80 kg di equipaggiamento faticando come se fossero 20 kg.
- Però US Army e US marines si sono accorti di un **aumento esponenziale nei traumi da caduta.**



Il mix equipaggiamento / batterie dell'esoscheletro / esoscheletro sposta il baricentro rendendo precario l'equilibrio del soldato in marcia.

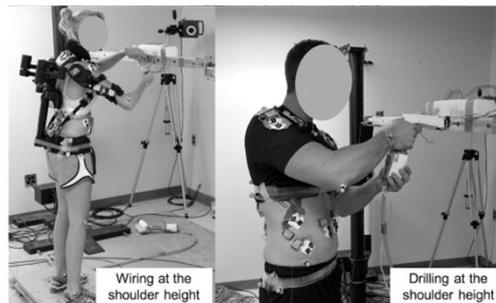
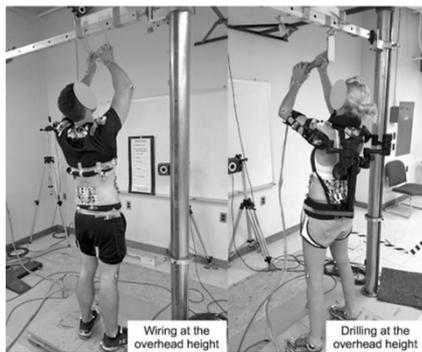
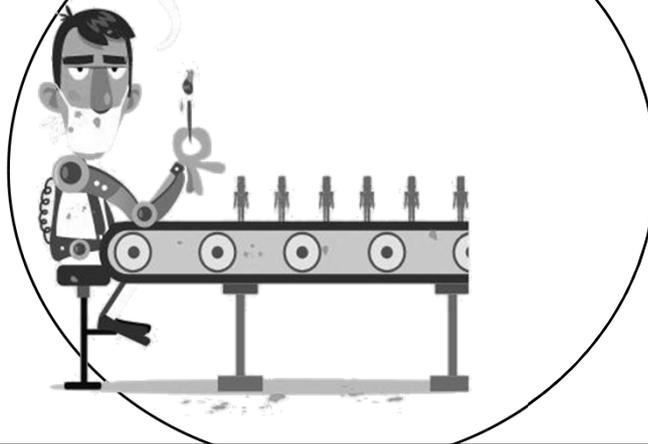
- Un soldato con esoscheletro arti inferiori può portare fino ad 80 kg di equipaggiamento faticando come se fossero 20 kg.
- Però US Army e US marines si sono accorti di un **aumento esponenziale nei traumi da caduta.**

[6] Gli esoscheletri non comportano alcun rischio per i lavoratori



[7] Gli esoscheletri sono adatti a tutte le situazioni lavorative

Sconsiglio caldamente l'uso per dipingere i dettagli



Se le attività **NON** richiedono l'uso di strumenti pesanti, l'esoscheletro **non comporta** un vantaggio significativo in termini di carico per l'articolazione della spalla

Kim et al. Appl Ergonom 2018 in press

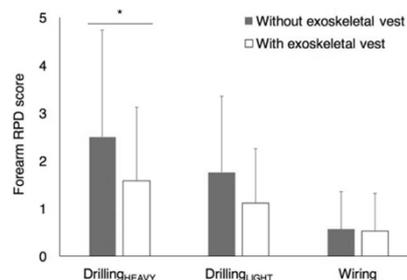
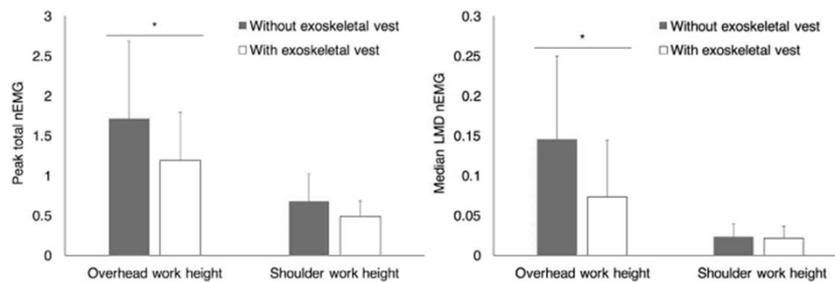


Fig. 3. Intervention \times Work Task interaction effects on forearm RPD. Note that the symbol * indicates a significant difference ($p < 0.05$) between the levels of Intervention, and error bars indicate standard deviations.

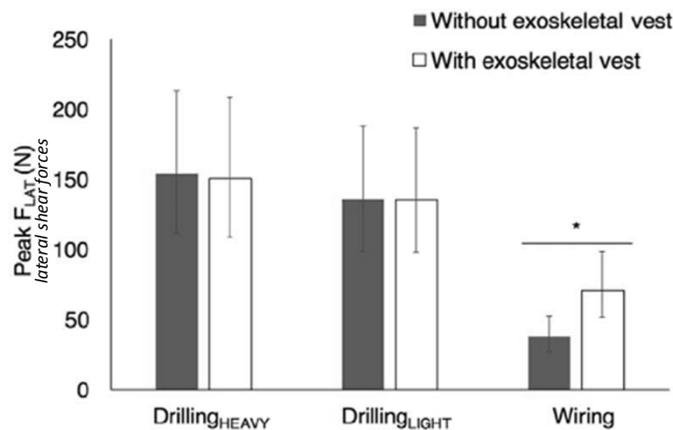


L'esoscheletro può aiutare gli operatori in **lavori svolti al di sopra del livello della testa** (vedi aree critiche NIOSH)

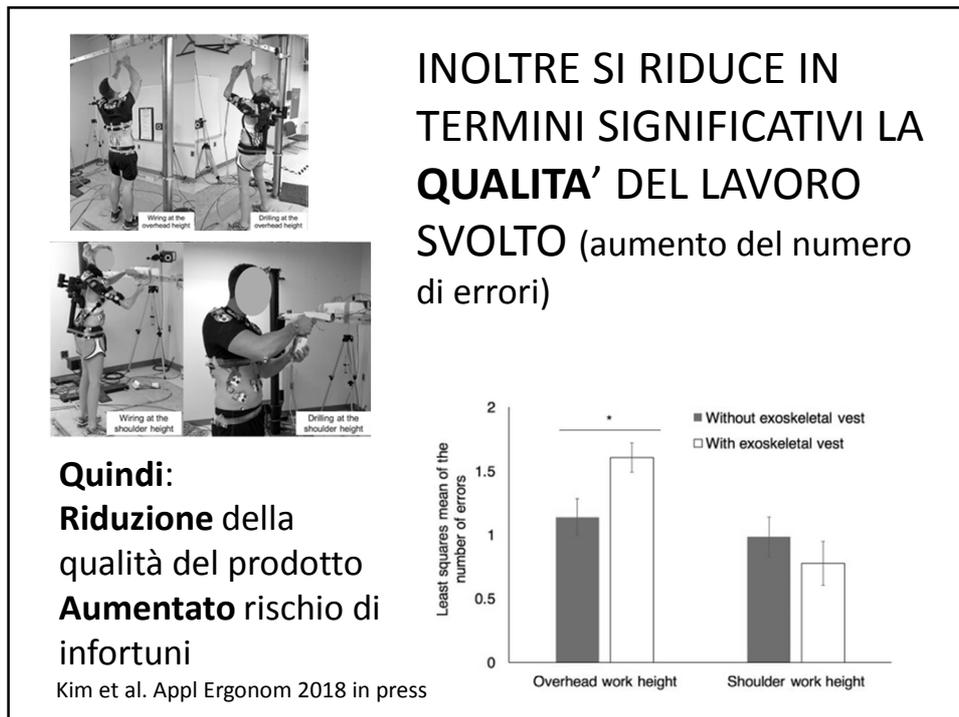
Kim et al. Appl Ergonom 2018 in press



Tuttavia, alcune attività (ad es. cablaggio) che richiedono l'uso di **più articolazioni** vedono un **aumento del carico muscolo-scheletrico** inteso come forze di taglio



Kim et al. Appl Ergonom 2018 in press



[8] Gli esoscheletri sono immediatamente utilizzabili

Pronto, sicurezza? Andrea e il nuovo esoscheletro stanno litigando su chi deve fare la pausa per primo.



Sul mercato ci sono decine di esoscheletri diversi



Againer

Againer



AIRFRAME

Levitate Tech



Armor-Man 2

Tiltamax (Amazon)



AWN-03

ActiveLink



backX

SuitX



Chairless Chair

Noonee



Daiya Glove

Daiya



Ekso Works

Ekso Bionics

Per esempio AMAZON utilizza (e vende) questo modello



Ikan Tilta Max Armor-Man 2 Gravity,
Ronin, Movi Gimbal Exoskeleton
Support, Black (ARM-T02)

by Ikan

Be the first to review this item | 4 answered questions

Price: \$2,250.00

Item is eligible: No interest if paid in full within 12 months with the Amazon.com Store Card. Apply now

Note: Signature required upon delivery due to high value of this item. Details

- ↳ Compatible with Tilta Gravity, DJI Ronin, Free fly Movi, and various other gimbal systems
- ↳ Quick release dual spring arms with adjustable tension control
- ↳ Swivel down spring arms can be clipped along your waist for resting between takes
- ↳ Adjustable vest for a comfortable custom fit
- ↳ V-Lock battery plate with 4-Pin Lemo power socket

New (3) from \$2,250.00 & FREE shipping. Details

... e segnala che il modello può essere integrato con altri sistemi già disponibili, di altri produttori.

[8] Gli esoscheletri sono immediatamente utilizzabili

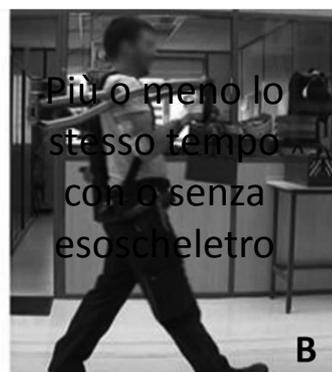
Pronto, sicurezza? Divo e il nuovo esoscheletro stanno litigando su chi deve fare la pausa per primo.



[9] Gli esoscheletri aumentano la produttività



	SENZA Esoscheletro	CON Esoscheletro
WALKING	14.0 ± 1.2	14.7 ± 1.1
STACKING	36.9 ± 6.7	47.6 ± 7.1



Senza contare la «falsa sicurezza»

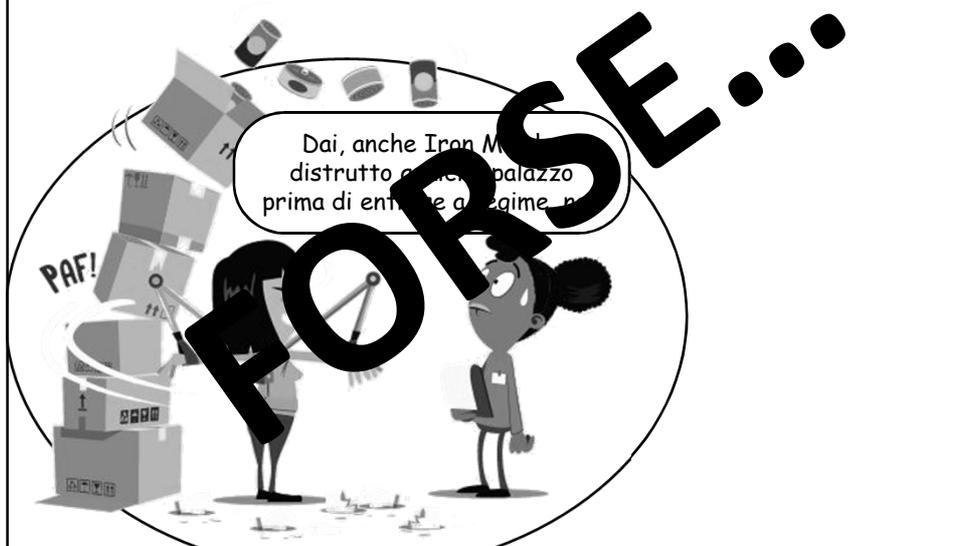
*Do these devices create a potential “**false sense of security**” for handling heavy loads?*

This was a concern raised in regard to back belt use.

Might it also be applicable to the use of exoskeletons?

(CDC 2018)

[9] Gli esoscheletri aumentano la produttività



[10] Gli esoscheletri sono un tipo particolare di DPI



Gli esoscheletri possono essere definiti DPI? **Cosa dice il Testo Unico?**



PPE or not PPE, this is the question ...

ART. 74 D.Lgs 81/2008 comma 1

Si intende per *dispositivo di protezione individuale* ... **qualsiasi** attrezzatura destinata ad essere **indossata e tenuta dal lavoratore allo scopo di proteggerlo** contro uno o più rischi suscettibili di minacciarne la sicurezza o la salute durante il lavoro, **nonché ogni complemento o accessorio destinato a tale scopo.**

ART. 74 D.Lgs 81/2008 comma 2

Non costituiscono DPI:

- a) **gli indumenti di lavoro ordinari e le uniformi non specificamente destinati a proteggere la sicurezza e la salute del lavoratore;**
- b) le attrezzature dei servizi di soccorso e di salvataggio;
- c) le attrezzature di protezione individuale delle forze armate, delle forze di polizia e del personale del servizio per il mantenimento dell'ordine pubblico;
- d) le attrezzature di protezione individuale proprie dei mezzi di trasporto;
- e) i materiali sportivi quando utilizzati a fini specificamente sportivi e non per attività lavorative;
- f) i materiali per l'autodifesa o per la dissuasione;
- g) gli apparecchi portatili per individuare e segnalare rischi e fattori nocivi.

E poi la marchiatura ...

Honda Walking Assist Certified with CE Mark Using Contents of ISO 13482

Posted on January 25, 2018 by Bobby Marinov in Business // 9 Comments



Tweet

G+

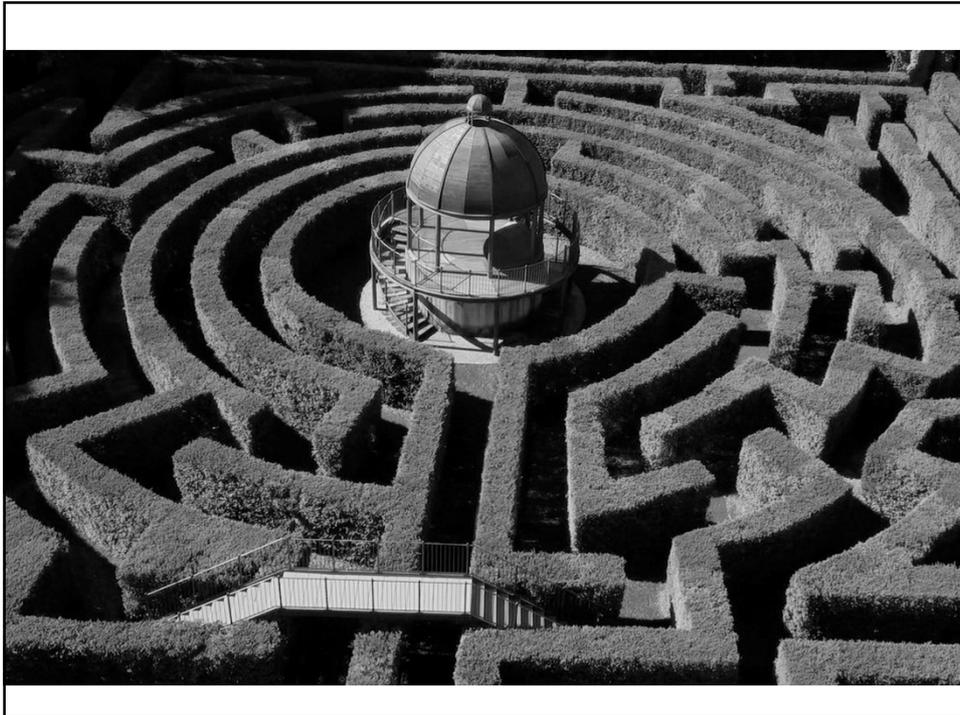
The Honda Walking Assist Device has earned the European Union (EU) CE certification mark for medical devices. This allows the Honda Motor Company to market and commercialize its

Ad oggi, gli unici esoscheletri che hanno ricevuto marchiatura CE sono quelli **riabilitativi**, classificati come «**presidi medici**»

[10] Gli esoscheletri sono un tipo particolare di DPI

Non farti venire strane idee. Non che l'ultimo arrivato si marchi CE a caso





Gli esoscheletri sono
effettivamente in grado di **assistere**
i lavoratori in alcuni contesti.
Il loro uso deve però essere ben
ponderato!

TAKE HOME MESSAGE No.1

Valutazione del Rischio

- L'uso degli esoscheletri **può contribuire a ridurre l'esposizione a rischio dei lavoratori.**
- La loro introduzione è quindi ponderata nell'ambito della valutazione del **rischio solo ed esclusivamente per quei compiti in cui il rischio è presente e solo dove possono ridurre l'impatto.**
- Da evitare approccio retrospettivo: **valutazione rigorosamente prospettica.**

TAKE HOME MESSAGE No.1

Sorveglianza sanitaria

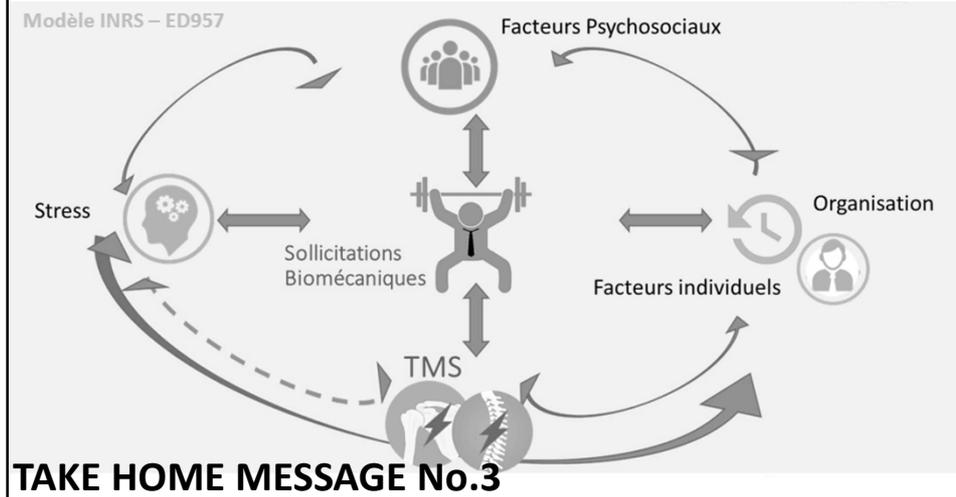
Necessario valutare la compatibilità del lavoratore con il macchinario in termini di pre-esistenti problematiche:

- Psicologiche / Psichiatriche (ansia / stress)
- Neurologiche (equilibrio)
- Dermatologiche (iperidrosi)
- Cardiologiche
- Muscoloscheletriche
- Respiratorie

Ricordiamoci che questi macchinari hanno a tutt'oggi un peso che può arrivare ad oltre 30 kg

TAKE HOME MESSAGE No.2

L'uso inappropriato degli esoscheletri rischia di determinare un effetto paradossico di incremento dei disturbi muscolo-scheletrici



In conclusione ...

Ve l'avevo detto che i Robot erano meglio ...

... così imparate a preferire «Fanteria dello Spazio» ad «Abissi d'Acciaio»

E comunque Tom Cruise in «Edge of Tomorrow» era totalmente fuori ruolo

