

# POLITECNICO DI TORINO

**Corso di Laurea Magistrale**  
**in Ingegneria della Produzione Industriale e dell'Innovazione Tecnologica**  
*Anno accademico 2022/2023*

Tesi di Laurea

## **Gli esoscheletri industriali come tecnologia ponte per la tutela del lavoratore nell'industria 4.0**



**Relatrice**

prof.ssa M. P. Cavatorta

**Candidata**

Carlotta Barba

*Ottobre 2023*

|

# Indice dei contenuti

<b>1</b>	<b>ABSTRACT</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>LE ATTIVITÀ PREDOMINANTI IN AMBIENTE INDUSTRIALE</b>	<b>15</b>
3.1	LA MOVIMENTAZIONE MANUALE DEI CARICHI	20
3.1.1	<i>Valutazione del rischio</i>	21
3.2	I MOVIMENTI RIPETITIVI DEGLI ARTI SUPERIORI	28
3.2.1	<i>Valutazione del rischio</i>	29
3.3	LE RICHIESTE AL LAVORATORE NEL SETTORE AUTOMOTIVE	35
3.4	MALATTIE PROFESSIONALI E INFORTUNI SUL LAVORO	38
3.4.1	<i>Denunce per malattie professionali e infortuni</i>	40
3.5	VALORE DEL PREMIO ASSICURATIVO	44
3.5.1	<i>Oscillazione dei premi assicurativi INAIL</i>	45
<b>4</b>	<b>GLI ESOSCHELETRI</b>	<b>51</b>
4.1	IL CONTESTO	51
4.1.1	<i>L'industria 4.0</i>	54
4.2	ESOSCHELETRI PASSIVI E ATTIVI	56
4.2.1	<i>Esoscheletri passivi</i>	57
4.2.2	<i>Esoscheletri attivi</i>	59
4.3	STUDI DI EFFICACIA E ACCETTAZIONE	61
4.3.1	<i>Segnali EMG e accettabilità da parte dell'operatore nel settore automobilistico</i>	62
4.3.2	<i>Applicabilità di esoscheletri passivi per arti superiori nel settore automobilistico</i>	65
4.3.3	<i>Esoscheletri di ultima generazione</i>	69
4.4	PERCHÉ GLI ESOSCHELETRI?	70
4.4.1	<i>Introduzione degli esoscheletri su larga scala</i>	73
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>77</b>
<b>6</b>	<b>RIFERIMENTI</b>	<b>81</b>
<b>7</b>	<b>APPENDICI</b>	<b>84</b>
7.1	APPENDICE 1 – MALATTIE TABELLATE, VERSIONE 2019	84



## **Indice delle figure**

FIGURA 2.1 - CONTRIBUTO DI OGNI FASCIA D'ETÀ AL TOTALE DELLA POPOLAZIONE LAVORATIVA	12
FIGURA 3.1 - PROCESSO PER LA VALUTAZIONE DEI RISCHI SECONDO LA NORMATIVA ISO	19
FIGURA 3.2 - CONTROLLI POSTURALI PER LA SPALLA	30
FIGURA 3.3 - CONTROLLI POSTURALI PER IL GOMITO	30
FIGURA 3.4 - CONTROLLI POSTURALI PER IL POLSO	31
FIGURA 3.5 - RAPPRESENTAZIONE DELLE POSSIBILI PRESE	31
FIGURA 3.6 - POSSIBILI POSTURE IN LINEA DI PRODUZIONE E ASSEMBLAGGIO.	36
FIGURA 3.7 - NUMERO DI DENUNCE PER INFORTUNI ALL'ANNO	40
FIGURA 3.8 - NUMERO DI DENUNCE PER MALATTIE PROFESSIONALI ALL'ANNO	42
FIGURA 4.1 - ESEMPI DI UTILIZZO DELLA "CHAIRLESS CHAIR"	58
FIGURA 4.2 - FOTO DELL'ESOSCHELETRO GERMAN BIONIC CRAY X	60
FIGURA 4.3 - RAFFIGURAZIONE DELLE AREE IN ESAME	64
FIGURA 4.4 - FOTOGRAFIA DELL'ESOSCHELETRO IN ESAME	66
FIGURA 5.1 - ANALISI SWOT RELATIVA L'INTRODUZIONE MASSIVA DI ESOSCHELETRI	79

## **Indice delle tabelle**

TABELLA 3.1 - CORRISPONDENZA TRA I PUNTEGGI OCRA	34
TABELLA 3.2 - AUMENTO PERCENTUALE DEL NUMERO DI DENUNCE PER AREA GEOGRAFICA	41
TABELLA 3.3 - AUMENTO PERCENTUALE DEL NUMERO DI DENUNCE PER AREA GEOGRAFICA	42
TABELLA 3.4 - RIDUZIONE PERCENTUALE DEL PREMIO IN FUNZIONE DELL'INDICE DI SINISTROSITÀ AZIENDALE RIPROPORZIONATO	48
TABELLA 3.5 – AUMENTO PERCENTUALE DEL PREMIO IN FUNZIONE DELL'INDICE DI SINISTROSITÀ AZIENDALE RIPROPORZIONATO	48

# Indice degli acronimi

Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro (TUSSL)

Dispositivi di protezione individuale (DPI)

Istituto nazionale Assicurazione Infortuni sul Lavoro (INAIL)

Limite di peso raccomandato (RWL)

Disturbi muscolo-scheletrici (DMS)

National Institute for Occupational Safety & Health (NIOSH)

Lifting Index (LI)

Occupational Repetitive Actions (OCRA)

European Assembly Worksheet (EAWS)

Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI)

International Organization for Standardization (ISO)

Giornate lavorative equivalenti perse (Gle)

Giornate lavorative equivalenti per grado (Gleg)

Indice di sinistrosità aziendale riproporzionato (ISAr)

Indice di sinistrosità aziendale (ISA)

Indice di sinistrosità media ponderata (ISMp)

Controllo numerico (NC)

Controllo numerico diretto (DNC)

Controllo numerico computerizzato (CNC)

CIM (Computer-Integrated Manufacturing).

Computer-aided design (CAD)

Computer Aided Manufacturing (CAM)

Internet of things (IoT)

Intelligenza artificiale (AI)

Realtà aumentata (AR)

Comunicazione macchina-macchina (M2M)

Dispositivi indossabili per l'assistenza al sollevamento (PLAD)

Elettromiografia (EMG)

Analisi della varianza (ANOVA)

Unione Europea (EU)

Organizzazione delle Nazioni Unite (ONU)

Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats (SWOT)





## Ringraziamenti

Desidero ringraziare mia nonna per tutto ciò che ha fatto per me, da quando sono nata ad oggi. Un grazie anche a mio papà che mi ha sempre supportata, durante gli studi e tutte le volte che ho avuto una decisione da prendere.

Ringrazio anche i miei compagni di corso, in particolar modo Casa Fantastica, il Gruppo 2 di Logistica e Carola, Matteo e Virginia, che mi sono stati vicini in molte occasioni e con cui abbiamo condiviso molti progetti e presentazioni Powerpoint.

Un ringraziamento anche ai miei amici del dipartimento di informatica per avermi accolta nella loro aula studio e per il supporto che mi hanno dato durante l'ultima sessione.

E infine un grazie a me stessa per aver evitato questa situazione:



*Fonte Bike Fall Meme (no date) imgflip. Available at: <https://imgflip.com/memegenerator/Bike-Fall>.*



# 1 ABSTRACT

---

Questa tesi si pone l'obiettivo di analizzare l'introduzione di esoscheletri industriali in ambiente produttivo. Inizialmente si introduce il contesto socioeconomico e il perché sia necessario apportare dei cambiamenti alla produzione odierna. È infatti da considerare l'innalzamento dell'età media della popolazione lavorativa, con conseguente aumento di infortuni e malattie professionali. Successivamente si valuta il sistema assicurativo italiano per il mondo del lavoro e il possibile aumento dei costi a causa dell'innalzamento del numero di eventi dannosi.

Sulla base delle precedenti analisi, si valuterà quindi l'evoluzione della produzione fino ad analizzare gli avanzamenti tecnologici che hanno portato alla definizione di industria 4.0. All'interno di questo contesto verranno individuate le aree di maggiore interesse, per poi introdurre gli esoscheletri industriali. A seguire, verranno analizzati alcuni studi effettuati per valutare l'efficacia degli esoscheletri, le attività più supportate e le possibili aree di miglioramento. Si concluderà con una valutazione riguardo l'eventuale adozione su larga scala.

L'intenzione di questa tesi è quella di valutare l'introduzione degli esoscheletri tanto per motivi economici e di produttività, quanto per tutelare i lavoratori. Vista la situazione socioeconomica, si ritiene che la probabile disoccupazione derivata da una completa automazione non sia sostenibile. D'altra parte, i metodi tradizionali di produzione non sempre garantiscono livelli di sicurezza elevati e quindi dovranno essere aggiornati. In tal senso, questa tesi vuole valutare gli effetti dell'utilizzo di esoscheletri industriali come tecnologia ponte che migliori le condizioni di lavoro dell'operatore.



## 2 INTRODUZIONE

---

In questo capitolo si intende analizzare tanto le cause personali che mi hanno portato a voler sviluppare i temi a seguire quanto il contesto sociopolitico che ci impone di scoprire nuovi punti di vista per cambiare paradigmi all'apparenza irrinunciabili.

Questa tesi nasce quindi con l'intento di porre un nuovo e rinnovato accento sulla posizione che l'essere umano ha all'interno degli ambienti lavorativi, in particolar modo all'interno di ambienti produttivi che richiedono grandi sforzi fisici. In questi contesti, da sempre il lavoratore è stato equiparato a forza lavoro, ovvero ad una risorsa da sfruttare per massimizzare la produttività e la redditività. Tuttavia, l'avanzamento della tecnologia odierna permette di cambiare questo paradigma e di sostituirlo con un modello che metta al centro il benessere e la tutela della salute umana.

Questo cambiamento non è solo un imperativo morale ma è anche richiesto dalle Nazioni Unite: all'interno dell'Agenda 2030<sup>1</sup> è infatti presente un piano per la promozione di una crescita economica che favorisca il lavoro dignitoso, attraverso la riconsiderazione e riorganizzazione delle politiche economiche e lavorative. Per permettere una crescita economica e sostenibile si dovrà quindi porre particolare attenzione all'innovazione tecnologica e alla protezione ambientale.

L'innovazione tecnologica è quindi centrale nello sviluppo di nuovi modelli produttivi che tutelino la produttività richiesta dal mercato e la popolazione umana. Basti pensare all'automazione sempre crescente in ambito automotive e logistico, settori in cui l'utilizzo di robot intelligenti o sistemi di ottimizzazione permette di riallocare i lavoratori in fasi ad alto valore aggiunto in cui l'umanità possa fare la differenza.

Parallelamente, può essere valutato il caso delle “casse lente” dei supermercati olandesi<sup>2</sup>. Se la maggior parte d'Europa sta togliendo l'essere umano per aumentare la velocità di pagamento, l'Olanda si è concentrata sul valore aggiunto che il cassiere (e la sua umanità) possono essere per persone sole o anziane, che apprezzano e danno valore al tempo che il

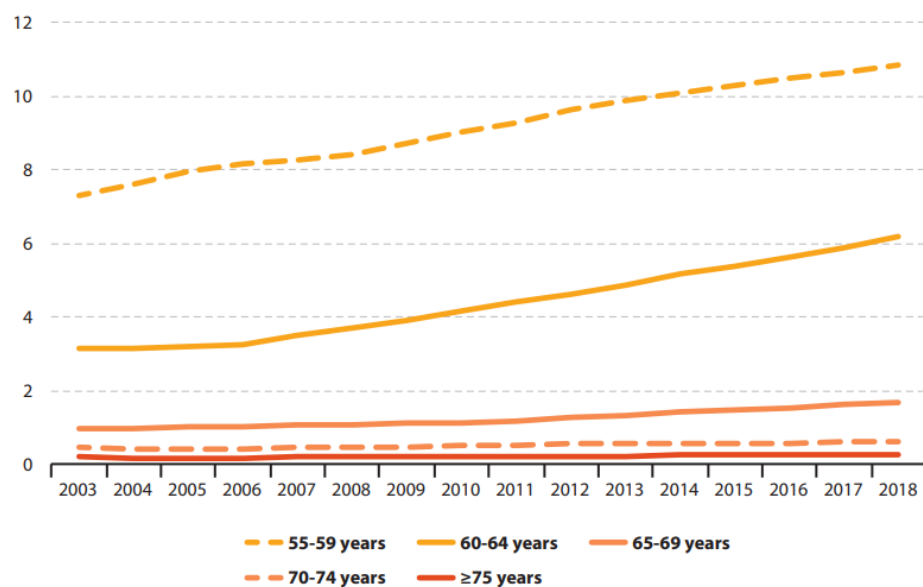
---

<sup>1</sup> Agenda 2030 (2023) ONU Italia. Available at: <https://unric.org/it/agenda-2030/> (Accessed: 19 August 2023).

<sup>2</sup> Ugolini, C. (2021) I Supermercati Olandesi aprono le casse ‘per chiacchierare’ riservate agli Anziani Soli, Mashable Italia. Available at: <https://it.mashable.com/6437/casse-supermercato-per-anziani-contro-lasolitudine> (Accessed: 19 August 2023).

cassiere dedica al cliente. In questo modo, le forze che il lavoratore porta all'azienda non sono le classiche di precisione e velocità, bensì di personalizzazione ed esperienza.

Oltre al contesto politico, è anche importante sottolineare come la durata della vita lavorativa stia aumentando in diverse parti del mondo. Ad un aumento dell'aspettativa di vita corrisponde un aumento dell'età pensionabile, che si traduce in un aumento dell'età media della popolazione attiva. Di fatti, Eurostat ha attestato che la fascia di popolazione 55-64<sup>3</sup> risulta sempre più predominante in termini di percentuale sul totale di popolazione lavorativa, come mostrato nella Figura 2.1.



Note: breaks in series, 2005.

Source: Eurostat (online data code: ifsa\_egan)

Figura 2.1 - Contributo di ogni fascia d'età al totale della popolazione lavorativa

Dal grafico di cui sopra, si denota quindi un evidente aumento di percentuale per le fasce 55-59 e 60-64; ne risulta che la fascia 55-64 in quindici anni sia passati da una presenza vicina all'11% ad una presenza oltre il 17%, portando la presenza di lavoratori oltre i 55 anni di età al 19%. Questo incremento vertiginoso crea nuove necessità in termini di tutela tanto per il

---

3 Ageing Europe - 2019 edition (2019) Ageing Europe - 2019 edition - Products Statistical Books - Eurostat. Available at: <https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-statistical-books/-/KS-02-19-681> (Accessed: 19 August 2023).

lavoratore giovane al fine di evitare problemi sul lungo termine quanto di riallocazione del lavoratore al quale insorgano problematiche legate alla capacità fisica.

È inoltre da prendere in considerazione l'approdo in occidente della filosofia giapponese relativa la *Lean production*, ovvero a quel sistema di gestione che mira a eliminare gli sprechi e ad aumentare l'efficienza dei processi di produzione. Essa si concentra quindi sulla creazione di valore per i clienti massimizzando l'efficienza e riducendo al minimo gli sprechi. Ciò si ottiene snellendo i processi, riducendo le scorte, migliorando la qualità e dando ai dipendenti la possibilità di apportare continui miglioramenti. Uno dei principi chiave di questa filosofia è il concetto di produzione "just-in-time", che prevede la produzione di beni e servizi solo quando sono necessari, ovvero contribuisce a ridurre gli sprechi e a migliorare l'efficienza, oltre a consentire una maggiore flessibilità e reattività alla domanda dei clienti. Questa riduzione estrema delle scorte e degli sprechi è permessa da processi di lavoro standardizzati e ottimizzati, così come dal miglioramento continuo tramite la creazione di una cultura di apprendimento.

Tuttavia, questa estrema standardizzazione e ottimizzazione degli spazi e tempi di lavoro porta a ridurre anche le inattività del sistema automatico, e di conseguenza si riducono le pause che permettono al lavoratore di riposare per brevi istanti tra seguenti tempi ciclo. Ne risulta pertanto un aumento del carico di lavoro e delle richieste, in quanto i dipendenti devono essere più produttivi e assumersi nuove responsabilità. In termini di richiesta biomeccanica si rischia di incorrere in un aumento che può rendere il lavoratore più soggetto a disturbi muscolo-scheletrici lavoro-correlati o malattie professionali<sup>4</sup>.

D'altra parte, a livello psicologico i dipendenti che subiscono processi estremamente veloci e ripetitivi con poche pause sono più prone a noia, stress e burnout. Queste difficoltà psicologiche possono poi riflettersi sulla qualità del lavoro svolto, che rischia di essere di carente fattura o di portare a incidenti dati dalla poca attenzione e del poco interesse.<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> Landsbergis, P.A., Cahill, J. and Schnall, P., 1999. The impact of lean production and related new systems of work organization on worker health. *Journal of occupational health psychology*, 4(2), p.108.

<sup>5</sup> Attridge, D. (2017) Effects of work-related stress, Human Resources. Available at: <https://www.hr.admin.cam.ac.uk/policies-procedures/managing-stress-and-promoting-wellbeing-work-policy/policy-statement/effects> (Accessed: 19 August 2023).

Proprio a causa delle nuove richieste nell'ambito produttivo e industriale, la normativa si è evoluta e a partire dal 2008 si è deciso di considerare la sicurezza sul lavoro come parte del benessere del lavoratore. L'obiettivo è quello di ampliare la definizione di sicurezza e di cercare nuove soluzioni meno impattanti per il lavoratore al fine di:

1. Aumentare l'efficienza della produzione, automatizzando le attività ripetitive e dannose per l'essere umano;
2. Ridurre il carico biomeccanico a carico del lavoratore per garantire una migliore qualità di vita al di fuori dell'ambiente lavorativo.

In questo senso, le nuove tecnologie sono l'innovazione (probabilmente distruttiva) che permetterà di evitare o ridurre drasticamente l'usura del corpo umano negli ambienti produttivi. Strutture come robot, co-bot o esoscheletri indossabili saranno la chiave per una produzione competitiva sul mercato e non dannosa per l'essere umano. Questi ultimi, sono dispositivi meccanici indossabili progettati per assistere e migliorare la capacità fisica dei lavoratori impegnati nel settore industriale e in attività fisicamente intense.

È proprio su questi dispositivi indossabili che si centra questa tesi.



### **3 LE ATTIVITÀ PREDOMINANTI IN AMBIENTE INDUSTRIALE**

---

In questo capitolo si intende analizzare a livello biomeccanico e normativo la movimentazione manuale dei carichi e la presenza di movimenti ripetitivi per gli arti superiori, ovvero quelle attività che sovraccaricano gli arti superiori e la schiena. Si inizierà con una panoramica sulle attività, per poi andare a definirle in un settore in cui rappresentano la gran parte delle attività svolte dal lavoratore. Successivamente si potrà valutare il loro impatto sul corpo del lavoratore così da permettere una valutazione dei rischi in termini di salute e benessere fisico. L'obiettivo è quello di considerare le attività durante lo svolgimento per poi allargare il campo della valutazione considerando le possibili predominanze di malattie muscolo-scheletriche e disturbi lavoro-correlati.

Le attività lavorative che richiedono movimenti ripetuti degli arti superiori sono responsabili di un alto numero di patologie articolari. Queste malattie costituiscono una parte significativa delle patologie professionali registrate annualmente da Inail e il loro numero è in costante aumento. L'esecuzione di compiti ripetitivi può causare affaticamento, ridotta produttività e alienazione dovuta alla monotonia delle attività svolte per lunghi periodi, che può creare o aggravare a sua volta situazioni di rischio. Questi effetti sono principalmente causati da condizioni di lavoro ergonomicamente insoddisfacenti e possono essere notevolmente ridotti attraverso una corretta progettazione o riprogettazione di vari aspetti dell'attività lavorativa, come la natura del compito, l'organizzazione del lavoro, il design della postazione e degli strumenti utilizzati, la forza richiesta e altri fattori.

Per attività lavorativa si intende l'insieme di compiti, mansioni o attività svolte da un individuo in cambio di un compenso o una retribuzione, generalmente in denaro. È un termine ampio che comprende tutte le forme di lavoro o occupazione, per cui i compiti svolti possono variare notevolmente in base al settore, al tipo di lavoro, alla qualifica e all'ambiente lavorativo. Possono essere sia fisiche che intellettuali e includere una vasta gamma di professioni e mestieri, come impiegati, operai, professionisti, commercianti.

Nel caso dei settori manifatturieri e industriali, ovvero quelli con grande impiego di manodopera, un'attività lavorativa può consistere in uno o più compiti, sia ripetitivi che non ripetitivi. I compiti ripetitivi sono caratterizzati da sequenze di azioni relativamente brevi chiamate "cicli", che si ripetono identici più volte. Le "azioni" non si riferiscono a singoli movimenti articolari, ma a una serie di gesti e movimenti di uno o più distretti articolari che mirano a compiere un'operazione elementare. Le operazioni che coinvolgono movimenti ripetuti degli arti superiori possono essere di diverse tipologie, come la movimentazione ad alta frequenza di oggetti leggeri e le attività in cui i movimenti delle braccia vengono ripetuti spesso e per lunghi periodi, anche se non si tratta di sollevamento di carichi con peso preminente.

Ponendo sempre al centro la posizione dell'essere umano all'interno della catena produttiva o di un ambiente industriale, è importante considerare l'impatto che le attività svolte nel contesto lavorativo esercitano sulla salute mentale e fisica del lavoratore. In questo senso, lo scopo della valutazione dei rischi è quello di identificare e valutare i potenziali pericoli presenti nel luogo di lavoro, analizzare l'entità del rischio associato a ciascun pericolo e prendere misure preventive per minimizzare o eliminare tali rischi. Un'adeguata valutazione dei rischi consente di mettere in atto misure di controllo e protezione per garantire un ambiente di lavoro sicuro e ridurre il rischio di incidenti e infortuni.

In Italia, la valutazione dei rischi per la movimentazione manuale dei carichi è regolata dal Decreto Legislativo 81/2008, noto come Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro (TUSSL). Questo testo recepisce le direttive europee in materia di salute e sicurezza sul lavoro e stabilisce gli obblighi e i requisiti per prevenire i rischi professionali, compresi quelli legati alla movimentazione manuale dei carichi e alle attività a basso carico con elevati ritmi di lavoro.

Con l'introduzione del Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro nell'ambito normativo italiano si è inoltre ampliato il concetto di rischio, considerando anche gli aspetti prettamente psicologici per completare la valutazione dei rischi con la tutela del benessere psicofisico del lavoratore. Passando ad un approccio olistico, la normativa considera quindi la sicurezza fisica come parte della salute e del benessere del lavoratore, considerando i rischi e gli effetti dello stress lavorativo e del burnout. Inoltre, anche grazie all'uso di tecnologie specifiche, la normativa si pone l'obiettivo di prolungare lo stato di salute del lavoratore evitando i danni da condizioni ambientali avverse.

All'interno del nuovo testo normativo per la sicurezza sul lavoro è anche inclusa la definizione delle procedure legate alla valutazione dei rischi e dei diritti e doveri per datori di lavoro, dipendenti e istituzioni interessate. In questo caso, è bene ricordare che un'adeguata valutazione dei rischi consente di mettere in atto misure di controllo e protezione per garantire un ambiente di lavoro sicuro e ridurre il rischio di incidenti e infortuni. Le attività coinvolte nella valutazione dei rischi sono:

1. *Identificazione dei pericoli*: in primo luogo è necessario svolgere un'analisi di tutte le attività, processi, macchinari, sostanze chimiche e situazioni potenzialmente rischiose presenti nel processo di produzione. Ciò può includere rischi legati a macchinari pericolosi, movimentazione di carichi e attività ripetitive, esposizione a sostanze tossiche o irritanti, lavori in altezza, ecc.
2. *Valutazione dei rischi*: una volta identificati i pericoli, è necessario valutare l'entità del rischio associato a ciascun elemento pericoloso. Questo coinvolge una valutazione oggettiva basata su dati e informazioni rilevanti, tenendo conto della probabilità di un incidente e delle potenziali conseguenze per la salute e la sicurezza dei lavoratori.
3. *Controllo dei rischi*: dopo aver identificato e valutato i rischi, l'obiettivo è quello di mettere in atto misure di controllo per ridurre o eliminare i rischi stessi. Ciò può includere l'implementazione di misure di ingegneria, come la modifica di macchinari per renderli più sicuri, l'adozione di procedure operative sicure, la fornitura di dispositivi di protezione individuale (DPI) e la formazione dei lavoratori.
4. *Monitoraggio e revisione*: la valutazione dei rischi deve essere un processo dinamico. È essenziale monitorare regolarmente le misure di controllo e valutare la loro efficacia nel tempo. Inoltre, dovrebbero essere effettuate revisioni periodiche per garantire che nuovi rischi emergenti siano adeguatamente affrontati.

La valutazione dei rischi per la movimentazione manuale dei carichi in Italia segue generalmente i passaggi illustrati in precedenza e deve essere effettuata da un responsabile della sicurezza o un professionista della prevenzione incaricato, in conformità con le normative vigenti e le linee guida specifiche stabilite dall'INAIL (Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro). Queste linee guida forniscono indicazioni dettagliate sul processo di valutazione dei rischi e le misure preventive da adottare.

Nello specifico, la definizione normativa per movimentazione manuale dei carichi intende *le operazioni di trasporto e di sostegno di un carico ad opera di uno o più lavoratori, comprese le azioni di sollevare, deporre, spingere, tirare, portare o spostare un carico, che per le loro caratteristiche o in conseguenza delle condizioni ergonomiche sfavorevoli, comportano rischi di patologie da sovraccarico biomeccanico, in particolare dorsolombari* (Art. 167, comma A).

Oltre alla definizione, all'interno del testo normativo è presente il Titolo VI dentro il quale sono presenti le leggi, norme e linee guida per tutte le attività che rientrano nella definizione di movimentazione manuale dei carichi (ovvero spinta e traino, sollevamento e trasporto, azioni ripetitive di oggetti leggeri). In questa sezione del TUSSEL, si richiamano le norme tecniche dettagliate nella serie ISO 11228, che riguardano specificatamente l'ergonomia e il fattore umano legati alle condizioni di lavoro, con particolare attenzione ai fattori biomeccanici che possono influire sul benessere fisico dei lavoratori.

Secondo la normativa ISO, il processo da portare avanti per effettuare una valutazione dei rischi richiede che le fonti di pericolo vengano innanzitutto identificate. Successivamente si deve procedere con una prima valutazione di accettabilità del rischio presente:

- Nel caso in cui il rischio sia accettabile si procede con le misure di monitoraggio e revisione previste.
- Se invece il rischio non fosse accettabile si deve procedere con una valutazione di secondo livello, ovvero quel tipo di valutazione che restituisce un valore numerico rappresentante la richiesta dell'attività rispetto alla capacità della popolazione lavorativa di riferimento. Questi valori numerici vengono poi classificati secondo una scala semaforica che rappresenta l'esposizione del lavoratore e la probabilità di ammalarsi a causa dell'attività svolta:
  - Un'attività in fascia verde indica che la maggior parte della popolazione lavorativa è tutelata nello svolgimento dell'attività;
  - Un'attività in fascia gialla significa che una parte della popolazione lavorativa è tutelata mentre per un'altra parte la richiesta lavorativa eccede la capacità. Per le attività in questa fascia è necessario attivare la sorveglianza sanitaria a carico del medico competente di modo che sia possibile valutare caso per caso le possibilità di ogni lavoratore;

- Un'attività in fascia rossa, invece, indica che buona parte della popolazione lavorativa è a rischio accresciuto di sviluppare una malattia professionale. In questo caso, l'attività deve essere ripensata e successivamente rivalutata.

In Figura 3.1 viene rappresentato il flusso logico che porta alla valutazione del rischio secondo l'approccio standard della normativa ISO.

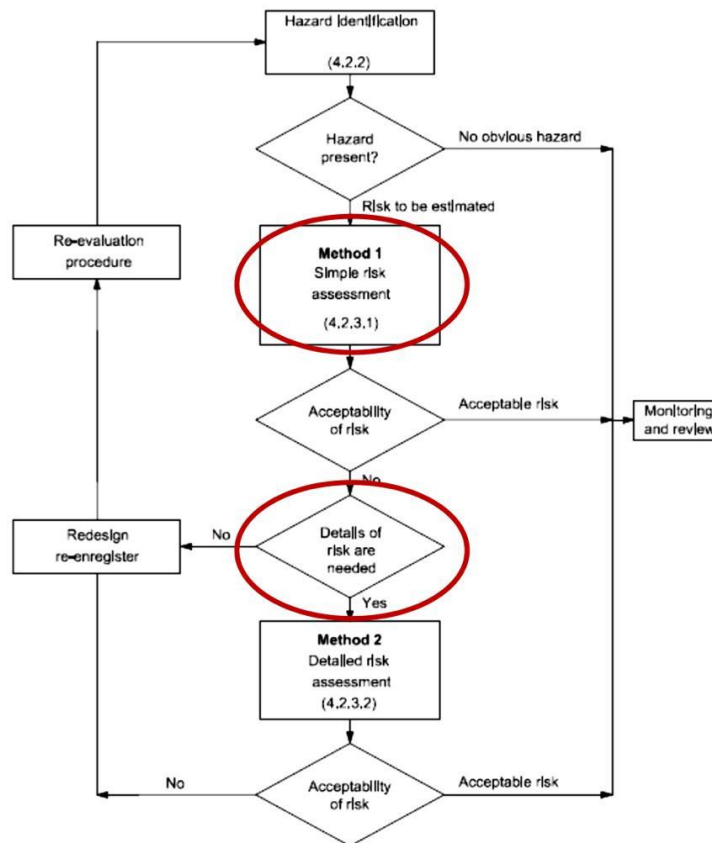


Figura 3.1 - Processo per la valutazione dei rischi secondo la normativa ISO

Per la valutazione del rischio di secondo livello, la serie ISO a cui la normativa italiana fa riferimento è la 11228, che è composta da tre parti, ugualmente importanti, ognuno delle quali specifica per attività di lavoro:

1. ISO 11228-1: Sollevamento e trasporto

Questa parte della norma fornisce linee guida e raccomandazioni per la valutazione dei rischi associati alle attività di movimentazione manuale che comportano il sollevamento e il trasporto di carichi. Include criteri per la valutazione del rischio di disturbi muscoloscheletrici dovuti a queste attività e suggerisce metodi per la riduzione del rischio.

## 2. ISO 11228-2: Spinta e trazione

La seconda parte della sezione si concentra sulle attività di spinta e trazione e sul loro potenziale impatto sulla salute muscoloscheletrica. Fornisce linee guida per la valutazione dei rischi di queste attività e offre raccomandazioni per ridurre al minimo i rischi ergonomici durante le attività di spinta e trazione.

## 3. ISO 11228-3: Movimentazione di carichi ridotti ad alta frequenza

La terza parte della norma riguarda la movimentazione di carichi bassi ad alta frequenza. Include linee guida per la valutazione dei rischi associati alle attività ripetitive che comportano la movimentazione frequente di carichi leggeri.

È importante sottolineare che, come ogni normativa, gli aggiornamenti periodici permettono di ampliare e approfondire certi aspetti ergonomici al fine di garantire che le linee guida riflettano le ultime ricerche e le migliori pratiche nel campo dell'ergonomia e della movimentazione manuale. Ad ogni modo, questi standard sono una risorsa preziosa per i datori di lavoro, i professionisti della sicurezza e i ricercatori per migliorare l'ergonomia del posto di lavoro, ridurre il rischio di disturbi muscoloscheletrici e promuovere la salute e il benessere dei lavoratori impegnati in attività di movimentazione manuale.

### 3.1 LA MOVIMENTAZIONE MANUALE DEI CARICHI

Per movimentazione manuale dei carichi si intende il processo di spostamento, sollevamento o trasporto manuale di oggetti o materiali da una posizione all'altra all'interno di un luogo di lavoro. Questa attività può includere compiti come trasportare, spingere, tirare o sollevare oggetti oltre i tre chilogrammi di peso così come tutti quei movimenti ripetitivi e continuativi che coinvolgono gli arti superiori, nonché i periodi prolungati di seduta o in piedi in posizioni scorrette.

I fattori che possono influire sulla capacità di un individuo di gestire le richieste fisiche senza subire lesioni comprendono l'età, il livello di forma fisica generale e gli infortuni precedenti, in quanto il sovraccarico biomeccanico si verifica quando le richieste fisiche poste al corpo durante il lavoro o altre attività superano la capacità dell'organismo di gestirle. Questo può portare a lesioni muscoloscheletriche, come strappi, distorsioni e lesioni da movimento ripetitivo.

Nel mondo del lavoro, la movimentazione manuale dei carichi è comunemente associata ad attività quali il sollevamento e il trasporto di oggetti pesanti o il lavoro in posizioni non congrue. Tuttavia, la diffusione delle pratiche di movimentazione manuale dei materiali nei luoghi di lavoro può variare a seconda del settore e delle specifiche mansioni svolte. Alcune aziende possono privilegiare l'uso di attrezzature meccaniche, come carrelli elevatori o nastri trasportatori, per ridurre la necessità di movimentazione manuale dei materiali e minimizzare il rischio di infortuni per i lavoratori. Altre aziende possono affidarsi maggiormente alla movimentazione manuale dei materiali, in particolare nei settori in cui l'automazione è meno economicamente vantaggiosa.

A prescindere dal settore di lavoro, si ritiene che l'impatto sulla schiena per quanto riguarda la movimentazione manuale dei carichi sia non trascurabile quando il peso dell'oggetto sia pari o superiore ai tre chilogrammi. Tuttavia, lo sforzo richiesto non dipende solo dal peso dell'oggetto movimentato, ma anche dal movimento svolto dal lavoratore nel compiere l'attività. Infatti, per prevenire il sovraccarico biomeccanico è necessario identificare i movimenti svolti, il numero di ripetizioni richieste e la definizione degli spazi di lavoro. Pertanto, ciò che viene richiesto è di includere l'implementazione di principi di progettazione ergonomica sul posto di lavoro, l'uso di ausili meccanici per assistere nelle attività e la formazione sulle corrette tecniche di lavoro sicure. In generale, l'obiettivo è quello di ridurre al minimo il rischio di lesioni, consentendo al contempo ai lavoratori di svolgere efficacemente le proprie mansioni.

### **3.1.1 Valutazione del rischio**

Come introdotto in precedenza, la movimentazione manuale dei carichi viene analizzata nel Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro all'interno del Titolo VI, che a sua volta fa riferimento alla norma ISO 11228. Nel caso specifico della movimentazione manuale dei carichi, la sezione della norma ISO di interesse è la prima, che tratta l'ergonomia delle attività di sollevamento e trasporto. Ovvero, fornisce linee guida e raccomandazioni per la valutazione dei rischi associati alle attività di movimentazione manuale che comportano il sollevamento e il trasporto di carichi.

Tali raccomandazioni mirano a prevenire i disturbi muscoloscheletrici (DMS) legati al lavoro, fornendo un quadro di riferimento per la valutazione delle esigenze fisiche delle attività di sollevamento e trasporto e identificando i rischi potenziali che possono portare a lesioni. La valutazione tiene conto di vari fattori, tra cui il peso del carico, la frequenza del sollevamento, la postura del lavoratore e la durata del compito.

I componenti chiave della norma ISO 11228-1 sono:

### **1. Limite di peso raccomandato (RWL)**

Lo standard fornisce indicazioni per determinare il limite di peso raccomandato per le diverse attività di sollevamento e trasporto. L'RWL è il peso massimo che un adulto sano può sollevare senza un rischio maggiore di sviluppare DMS.

Il limite di peso raccomandato è calcolato utilizzando metodi ergonomici e formule specifiche, come il metodo del NIOSH Lifting Equation<sup>6</sup>, che considerano vari fattori, tra cui il peso del carico effettivo, la frequenza di movimentazione, la postura mantenuta durante l'attività, la durata complessiva dell'attività e il momento esercitato a livello lombare durante l'attività che agiscono sulle articolazioni durante l'attività. Tuttavia, è importante considerare le formule utilizzate dal metodo NIOSH non considerano le caratteristiche specifiche del lavoratore. Le altezze a cui si fa riferimento per la definizione dei moltiplicatori sono i valori ottimali per un individuo maschile di altezza media, ovvero il P50.

Perché la valutazione dei rischi con l'applicazione del metodo NIOSH sia corretta, si richiede che il lavoratore non sia a rischio caduta (presenza di pavimentazione industriale e scarpe che garantiscano un certo attrito), che umidità e temperatura siano controllate, e che la velocità di sollevamento sia bassa. Questo metodo, come risulta evidente, nasce quindi per ambienti industriali controllati, e solo successivamente è stato adattato a settori svolti all'aperto o in condizioni non ideali.

---

<sup>6</sup> Metodo che nasce negli anni '80 quando quando il NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) ha condotto un'ampia ricerca per identificare i rischi associati alle attività di sollevamento manuale dei carichi, con l'obiettivo di fornire linee guida e strumenti per migliorare la sicurezza e la salute sul lavoro. Il NIOSH è parte dei Centers for Disease Control and Prevention (CDC) e opera sotto il Dipartimento della Salute e dei Servizi Umani degli Stati Uniti.



La formula che permette di ottenere il carico raccomandato, inoltre, ha richiesto uno sforzo considerevole per garantire un calcolo semplice ma che considerasse le variabili più impattanti per il corpo. Grazie a ricerche epidemiologiche, modelli biomeccanici e studi di fisiologia e psicofisiologia, il metodo giunge finalmente a considerare i seguenti capisaldi:

- Massima compressione dei dischi vertebrali accettabile
- Massimo consumo calorico accettabile
- Valutazione psicofisica che permetta di proteggere la popolazione lavorativa per raggiungere un livello di tollerabilità psicofisica sostenibile

La determinazione del carico raccomandato dipende dalla formula (3.1).

$$RWL = LC * (HM * VM * DM * AM * FM * CM) \quad (3.1)$$

Risulta evidente che il calcolo è di tipo moltiplicativo, ovvero i fattori presi in considerazione si influenzano a vicenda. In questo modo, il risultato che si ottiene è la correlazione di tutte le variabili.

In secondo luogo, è importante analizzare le variabili presenti:

- LC: è la costante di peso, ovvero il peso massimo accettato se tutti i fattori non influenzassero l'attività. È un valore fisso, stabilito dalla normativa, che per gli Stati Uniti è pari a 25kg, in Unione Europa è fissato a 23kg, mentre l'Italia ha due diverse variabili, una per uomo (25kg) e una per donna (20kg) alle quali si sottraggono 5 kg per lavoratori sotto i 18 anni o oltre i 45 anni di età.
- HM: è il moltiplicatore orizzontale e tiene conto della distanza a cui è sostenuto il carico rispetto al corpo. Sotto i 25cm di distanza è considerato 1, maggiore è la distanza più sarà basso il moltiplicatore fino ai 63cm, distanza massima di lavoro (HM = 0).
- VM: è il moltiplicatore verticale e tiene conto della distanza verticale tra il carico e le mani del lavoratore durante l'attività di sollevamento. VM varia da 1,0 (carico a livello del cavallo del manichino P50 maschile, per convenzione 75cm da terra) a 0,25 (carico molto lontano dai 75cm da terra).
- DM: è il moltiplicatore della distanza percorsa, ovvero la differenza di altezza tra origine e destinazione delle mani. Se la distanza percorsa è sotto i 25cm il moltiplicatore sarà pari a 1, mentre per distanze oltre i 175cm risulta 0.

- AM: è il moltiplicatore che rappresenta la torsione del busto dalla posizione centrale dei piedi. È un moltiplicatore controverso, in quanto si dovrebbe prendere la torsione obbligata ma con la giusta formazione il lavoratore dovrebbe sapere che è sconsigliabile torcere il busto di frequente. Spesso serve a valutare lo spazio della postazione di lavoro, in cui lavoratore deve avere abbastanza spazio per camminare e girarsi in caso di postazioni ad angolo.
- CM: è il moltiplicatore che considera la qualità della presa che il lavoratore esercita sull'oggetto e valuta solo l'aspetto frontale, ovvero le sue dimensioni (massimo 40cm x 30cm h). Se l'oggetto supera tali misure, la presa sarà necessariamente "povera". All'interno delle misure raccomandate, invece, se sono presenti maniglie la presa è "buona", in caso contrario dipende dal tipo di presa permessa. Se le misure sono accettabili e l'oggetto si prende da sotto, la presa è "accettabile" mentre se la presa è una presa d'attrito sui lati, risulta "povera".  

In ogni caso, questo moltiplicatore può valere solo 1 (presa buona), 0,95 (presa accettabile) o 0,90 (presa povera).
- FM: moltiplicatore che indica la frequenza e considera tanto la durata dell'attività quanto le pause concesse. Dopo aver definito la durata (breve, media, lunga) si valutano le frequenze al minuto di esecuzione del sollevamento.

Essendo tutti questi moltiplicatori valori compresi tra 0 e 1, maggiore sarà il loro impatto sul lavoratore, minore sarà il peso raccomandato.

L'analisi che si svolge sull'attività, comunque, parte prima da un confronto tra peso limite definito dalla normativa locale e il peso effettivamente sollevato, che deve essere decisamente inferiore. Successivamente, il primo moltiplicatore che si applica è quello della frequenza, perché si vuole prima valutare in condizioni ideali l'impatto che durata e frequenza dell'attività esercitano sul peso raccomandato. Se anche in questo caso il peso raccomandato è superiore a quello sollevato si procede con l'applicazione di tutti i moltiplicatori, prima nel caso migliore (best multipliers) e poi del caso peggiore (worst multipliers). Se il caso dei moltiplicatori migliori è accettabile si deve controllare che anche nel caso dei peggiori moltiplicatori il peso sollevato non ecceda quello raccomandato. Mentre se già nel caso migliore il peso sollevato è molto vicino o supera quello raccomandato serve una riprogettazione dell'attività, analizzando i moltiplicatori più impattanti e valutando diverse soluzioni per l'area di lavoro. Infine, si considera il carico cumulato sollevato dal lavoratore

durante il turno di lavoro, che non deve eccedere le 10 tonnellate, se il lavoratore si trova in condizioni ideali (pavimentazioni, temperatura e umidità, ecc).

All'interno dell'analisi NIOSH è anche possibile considerare in modo semplicistico il trasporto, in quanto, nel caso di distanza tra origine e destinazione della movimentazione superiore al metro, si devono considerare i seguenti parametri:

- Carico sollevato al minuto: massimo 120 kg/min
- Carico sollevato all'ora: massimo 7 200 kg/h
- Carico sollevato a turno: 10 000 kg/turno

## 2. Calcolo dell'indice di sollevamento

L'analisi per calcolare il carico raccomandato si conclude quindi con il valore del carico massimo consigliato in quella configurazione dell'area di lavoro. A partire da quel valore, si calcola l'indice di sollevamento che serve per valutare il rischio delle attività di sollevamento manuale. L'indice di sollevamento, o Lifting Index, è un valore numerico che permette di valutare l'attività in base alle linee guida ergonomiche.

$$Lifting\ Index = \frac{Carico\ Sollevato}{Limite\ di\ peso\ raccomandato} \quad (3.2)$$

L'indice di sollevamento, calcolato come mostrato nella Formula (3.2, confronta il carico effettivamente sollevato durante l'attività e il limite di peso calcolato col metodo NIOSH precedentemente illustrato. Il risultato è un valore numerico che permette di determinare l'esposizione al rischio per una determinata porzione della popolazione lavorativa.

La scelta della popolazione lavorativa di riferimento viene effettuata nel momento in cui si decide la costante di peso all'interno del calcolo del limite di peso raccomandato. Nel caso in cui si utilizzi una costante di peso pari a 20 kg, ad esempio, si identifica come popolazione di riferimento una popolazione mista per genere ed età, che permette di definire un indice di sollevamento che protegga il 95% circa della popolazione lavorativa (90% per le lavoratrici di sesso femminile, 99% per lavoratori di sesso maschile).

D'altra parte, se il carico effettivamente sollevato è variabile è buona regola procedere prima con un calcolo dell'indice con la massa massima per valutare l'effetto di essa sulla popolazione lavorativa, per poi valutare la massa media ponderata sulla frequenza che il lavoratore movimentata durante il turno.

Ad ogni modo, il risultato ottenuto da questo rapporto potrà avere diversi valori che indicano diverse procedure e soprattutto diversi impatti per la popolazione lavorativa:

- Un indice di sollevamento inferiore a 1,0 indica che il carico sollevato è al di sotto del limite di peso raccomandato e quindi considerato sicuro per la maggior parte della popolazione lavorativa di riferimento. Per la valutazione del rischio, l'attività sarà quindi definita verde.
- Un indice di sollevamento è maggiore di 3,0 indica che il carico sollevato supera abbondantemente il limite di peso raccomandato, ed è necessario prendere misure correttive per ridurre il rischio di lesioni. In questo caso, la maggior parte della popolazione lavorativa di riferimento si trova in condizioni di rischio, infatti la valutazione del rischio indica tale attività in fascia rossa.
- Se l'indice di sollevamento si trova tra 1,0 e 3,0, l'attività è possibilmente dannosa e pertanto si richiede una possibile riprogettazione, formazione agli operatori e stretta sorveglianza sanitaria al fine di monitorare la situazione, ovvero l'attività risulta in fascia gialla.

### **3. Criteri biomeccanici**

Lo standard tiene conto dei principi biomeccanici per valutare i rischi associati a specifiche attività di sollevamento e trasporto. Prende in considerazione fattori quali la postura del lavoratore, la distanza del sollevamento e la frequenza del sollevamento.

I principali criteri biomeccanici considerati nella valutazione della movimentazione manuale dei carichi includono:

- un'analisi della forza richiesta per sollevare o trasportare il carico;
- il momento esercitato a livello lombare in caso di flessione o torsione del tronco e a prevenire lesioni muscolari o vertebrali;
- il controllo della postura del corpo, perché essa sia neutra con la colonna vertebrale eretta e gli arti sollevati correttamente;

- un'analisi riguardo la geometria dei movimenti e le distanze tra il sollevamento e il corpo del lavoratore;
- la valutazione della frequenza e della durata dell'attività svolta, le quali influenzano l'affaticamento muscolare e la probabilità di sviluppare disturbi muscolo-scheletrici;
- il controllo sulla distribuzione simmetrica del carico tra le mani in quanto sbilanciamenti e asimmetrie possono aumentare il rischio di lesioni muscolari.

I criteri biomeccanici sono spesso già considerati nelle formule per calcolare i limiti di peso raccomandati e l'indice di sollevamento precedentemente citato. Cionondimeno, questi criteri aiutano a rafforzare le linee guida per la movimentazione manuale dei carichi, consentendo di ridurre il rischio di infortuni e promuovendo un ambiente di lavoro sicuro e salutare.

#### **4. Riduzione del rischio**

Come per tutte le normative in tema di salute e sicurezza sul lavoro, anche la norma ISO 11228-1 offre raccomandazioni e misure di riduzione del rischio per minimizzare i rischi da sovraccarico biomeccanico durante le attività di sollevamento e trasporto. Suggerisce come riprogettare i compiti, utilizzare ausili meccanici o implementare altri miglioramenti ergonomici per ridurre il rischio di lesioni.

Nello specifico, è bene considerare come ogni passaggio illustrato della norma possa e debba essere preso come spunto di riflessione per rivalutare, migliorare o riprogettare tanto le attività quanto le aree di lavoro. Un ambiente di lavoro deve essere, non solo sicuro per il corpo dell'operatore, ma deve anche permettere al lavoratore di svolgere la propria attività nel migliore dei modi, senza essere fonte di stress o fatica mentale eccessiva.

### 3.2 I MOVIMENTI RIPETITIVI DEGLI ARTI SUPERIORI

I movimenti ripetitivi degli arti superiori si riferiscono ai gesti o alle azioni eseguite ripetitivamente con le braccia, le mani e le dita. Questi movimenti sono spesso associati a compiti lavorativi o attività quotidiane che richiedono l'uso ripetuto degli arti superiori. Alcuni esempi comuni di movimenti ripetitivi degli arti superiori includono i movimenti di assemblaggio di componenti o prodotti, come avvitare, inserire o collegare parti; movimenti di digitazione; movimenti di taglio; movimenti di imballaggio o di utilizzo degli strumenti.

Si noti che le attività lavorative che coinvolgono movimenti ripetitivi degli arti superiori, vista la loro diffusione e predominanza all'interno di diverse realtà lavorative, possono essere la causa di numerose patologie che interessano diverse articolazioni. Il crescente aumento di queste malattie rappresenta, tra l'altro, una significativa parte delle patologie professionali riportate annualmente dall'INAIL. Inoltre, l'esecuzione di compiti ripetitivi può portare anche a sensazioni di affaticamento, una riduzione della produttività e un senso di alienazione a causa della monotonia di attività svolte per lunghi periodi.

Inoltre, la diffusione sempre maggiore della logica della *lean production* e della conseguente riduzione degli sprechi e dei tempi attesa provoca un aumento del ritmo delle attività manuali e una riduzione delle pause. Per le attività di assemblaggio o imballaggio, ad esempio, il ritmo che il lavoratore deve sostenere è dettato dal macchinario a monte dell'attività svolta e, in ottica *lean*, anche i tempi di attrezzaggio di tale macchinario sono ridotti al minimo per ridurre i tempi di *downtime*<sup>7</sup> della produzione. Questa estrema riduzione tenta quindi di aumentare l'efficienza e la produttività ma può provocare inefficienze ed eccessivo logoramento negli operatori che, a causa dei ritmi elevati, possono sentirsi alienati e stressati.

D'altra parte, lo stesso stato di alienazione può generare o comunque aggravare situazioni di rischio aggiuntivo. Questi effetti sono spesso causati da condizioni ergonomicamente inadeguate e possono essere significativamente ridotti mediante una corretta progettazione o riprogettazione di vari aspetti dell'attività lavorativa.

---

<sup>7</sup> Il "*downtime*" è il periodo durante il quale le macchine o i sistemi non sono operativi, ovvero le operazioni regolari sono temporaneamente interrotte. Durante questo lasso di tempo, le normali attività vengono sospese a causa di problematiche tecniche, interventi di manutenzione pianificati o *set up* del macchinario.

Al fine di migliorare l'ergonomia della postazione o dell'attività, la norma ISO 11228-3 delinea dei metodi di analisi dell'attività, partendo dalla definizione di azioni relativamente brevi, definite "cicli", che si ripetono identici più volte. È bene precisare che, ai fini di stilare una valutazione dei rischi, le "azioni" svolte non rappresentano singoli movimenti articolari, ma una serie di gesti e movimenti di uno o più distretti articolari volti a completare un'operazione elementare. Per questo motivo, le operazioni che comportano movimenti ripetitivi degli arti superiori possono variare notevolmente. Nella normativa, infatti, si tende a delineare linee guida che si riferiscono ai "movimenti ripetitivi degli arti superiori" in relazione ai rischi di disturbi muscolo-scheletrici (DMS) e lesioni correlati all'eccessiva ripetizione di gesti manuali, posture scomode e sforzi prolungati nelle attività lavorative.

### **3.2.1 Valutazione del rischio**

Come introdotto in precedenza, la normativa di riferimento per la movimentazione manuale dei carichi e per i movimenti ripetitivi degli arti superiori trova la base nella norma ISO 11228. Nel caso specifico dei movimenti ripetitivi, la sezione della norma ISO di interesse è la terza.

Per valutare i rischi ergonomici, la norma si appoggia anche al metodo di valutazione OCRA (Occupational Repetitive Actions) sviluppato da Daniela Colombini e Enrico Occhipinti nel 1996, che nasce per l'industria e che successivamente è stato adattato ad altri settori lavorativi. In primo luogo, l'obiettivo era quello di analizzare gli effetti che postazioni di lavoro in cui il ritmo è imposto da un processo automatizzato hanno sul lavoratore. Il metodo viene poi completato grazie a due componenti, una prima checklist che rappresenta uno strumento di valutazione dei rischi qualitativo e un indice ad essa correlato, che è identificata come metodo di valutazione di secondo livello. Ovvero si produce un risultato compatibile con la valutazione semaforica richiesta dall'approccio ISO precedentemente citato.

La valutazione qualitativa permette infatti di prendere in considerazione le buone prassi consigliate dalla normativa e soprattutto quali caratteristiche della postazione di lavoro evitare in fase di progettazione. La valutazione si svolge esaminando gli arti superiori uno alla volta, così da permettere un'analisi completa.

Per il distretto articolare e muscolare della spalla è importante controllare l'altezza della postazione di lavoro, considerando sia le attività frequenti che occasionali da svolgere ad altezze estreme (oltre l'altezza delle spalle). È anche importante, sebbene meno frequente, controllare che nessun oggetto necessario all'attività lavorativa sia posizionato dietro al lavoratore. In Figura 3.2 si mostrano le posture scorrette per la spalla.

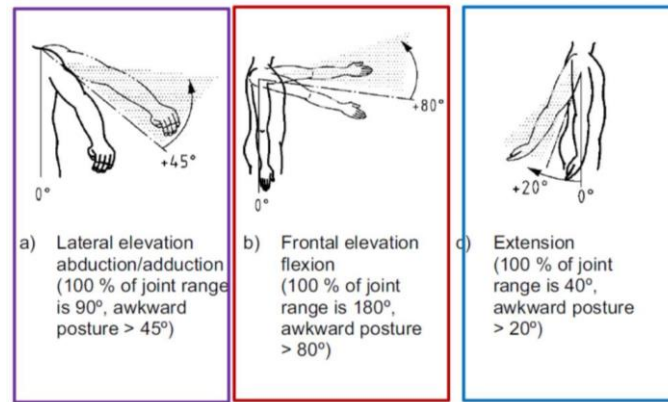


Figura 3.2 - Controlli posturali per la spalla <sup>8</sup>

Per l'articolazione del gomito, è importante che l'attività sia svolta col braccio piegato e che il lavoratore non sia obbligato a svolgere attività di eccessive flessione-estensioni o continue prono-supinazioni della mano. Soprattutto per quest'ultima, è bene sottolineare che, nonostante l'effetto principale sia la posizione delle mani, l'articolazione sollecitata è il gomito, come mostrato in Figura 3.3.

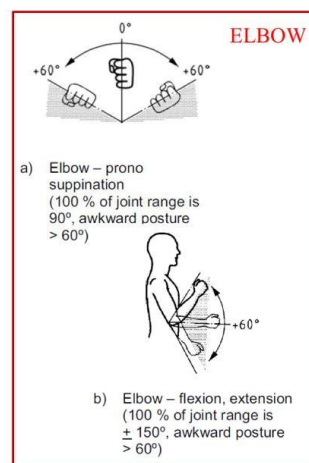


Figura 3.3 - Controlli posturali per il gomito <sup>8</sup>

<sup>8</sup> Cavatorta, M.P. (2022b) 'Movimenti ripetitivi'



Per quanto riguarda il polso, invece, è importante che le attività vengano svolte con angolazioni neutre. Non devono previste flessioni palmari o dorsali, né tantomeno deviazioni ulnari e radiali, come rappresentato in Figura 3.4.

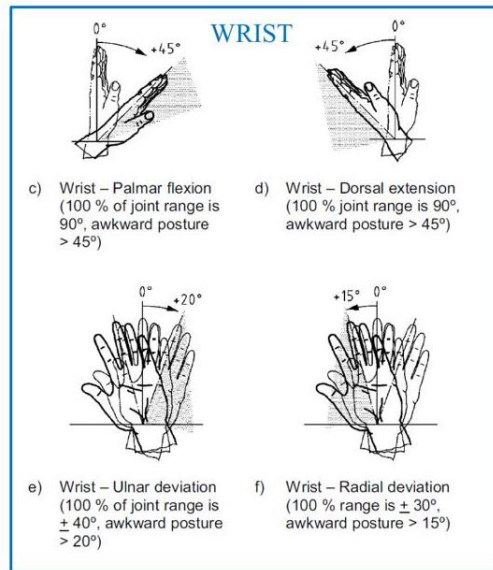


Figura 3.4 - Controlli posturali per il polso <sup>8</sup>

Infine, è importante considerare la geometria dell'oggetto movimentato. Nel caso in cui l'operatore debba movimentare pezzi o prodotti che richiedono una presa a uncino, palmare o con le dita, si deve considerare un maggiore impatto sul fisico del lavoratore. La presa da prediligere è infatti quella di forza, che oppone le quattro dita al pollice e permette di esercitare correttamente la forza di presa senza causare eccessivo affaticamento della mano. In Figura 3.5 sono mostrati i diversi tipi di presa con il loro nome in inglese.

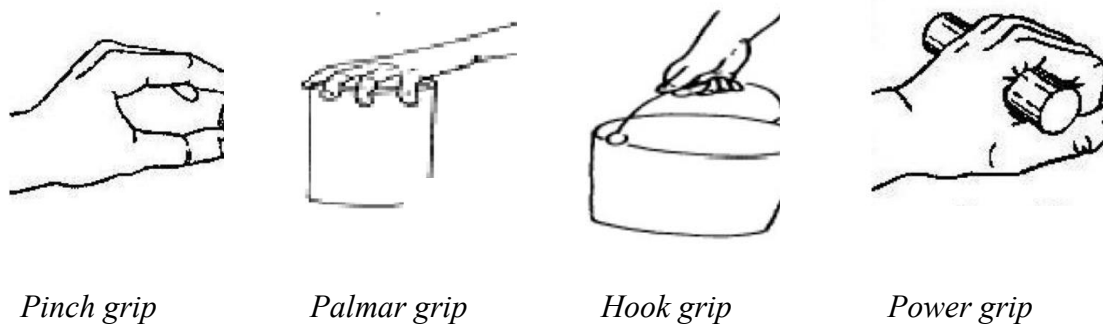


Figura 3.5 - Rappresentazione delle possibili prese <sup>8</sup>

Infine, il metodo considera anche l'utilizzo di strumenti vibranti e la posizione di polsi e gomiti durante l'utilizzo.

## **1. Checklist OCRA**

Nel caso in cui un'organizzazione decida di utilizzare il metodo OCRA come strumento per la valutazione dei rischi ergonomici, la "Checklist OCRA" può essere utilizzata per raccogliere dati e analizzare le informazioni pertinenti sulla frequenza e la durata dei movimenti ripetitivi degli arti superiori, le posture adottate, le forze richieste e altri fattori rilevanti per l'analisi.

L'identificazione del rischio per gli arti superiori inizia con un'attenta valutazione dell'attività svolta, spesso tramite una sua registrazione video che permette anche di valutare le durate delle azioni. In questa prima fase, si richiede quindi di valutare la ripetizione di movimenti identici o molto simili, le forze esercitate e per quanto tempo con particolare attenzione a quelle applicate dalle sole dita (*finger grip*). In tal senso, si deve anche considerare l'azionamento di bottoni industriali, il dito con cui si aziona e la forza richiesta dall'attività. Inoltre, si deve considerare l'uso di strumenti e il suo effetto sul palmo della mano e sulla posizione di gomiti e polsi, così come la forza necessaria per il suo utilizzo.

Per permettere una valutazione completa, la checklist è divisa in diverse sezioni, le quali verranno valutate con un punteggio numerico in base alle caratteristiche dell'attività. Una volta completate tutte le sezioni, si calcola il valore totale di rischio dell'attività sommando tutti i punteggi delle aree già valutate. Essendo un metodo additivo e non moltiplicativo, la checklist OCRA non mette in correlazione i fattori di rischio.

I punteggi delle sezioni sono definiti a seconda delle condizioni in cui si svolge l'attività e possono essere tanto valori interi quanto decimali. Inoltre, per ogni parte, sono stabiliti dei valori massimi raggiungibili nella sezione in esame. Nel caso in cui l'azione risulti asimmetrica con una mano più sollecitata rispetto all'altra, si dovrà prendere in considerazione il punteggio più alto.

Le sezioni presenti nella checklist OCRA sono:

### **i. Recovery (recupero)**

La prima sezione analizzata valuta la durata netta dell'attività ripetitiva considerando il tempo totale del turno e togliendo le pause previste e i periodi di tempo svolti in attività non ripetitive (pulizie, controllo, attività amministrative). Successivamente, si valuta il tempo ciclo dell'attività svolta.

### **ii. Frequency – repetitiveness (frequenza e ripetitività)**

Nella seconda sezione della checklist si valuta la ripetitività, ovvero la frequenza, si ripetizione delle azioni. Un'azione può quindi essere definita statica se la postura viene mantenuta per oltre 5 secondi oppure dinamica, nel cui caso sarà necessario calcolare il numero di azioni tecniche al minuto standard. Nel caso in cui siano presenti entrambi i tipi di attività, il punteggio della sezione corrisponderà a quello più alto tra i due.

### **iii. Force (forza richiesta)**

Nella terza sezione si passa alla valutazione delle forze esercitate con mani e braccia. Per effettuare questa valutazione si sfrutta la scala di Borg<sup>9</sup> e si valuta la fatica effettuata rispetto al periodo di tempo in cui viene effettuata.

In questa parte della checklist si considerano diversi livelli di fatica richiesti e il totale viene calcolato come la somma dei tre livelli di fatica previsti.

### **iv. Posture of upper limbs (posture degli arti superiori)**

La quarta sezione si focalizza sulla postura mantenuta durante l'attività dagli arti superiori. Le prime quattro parti sono elencate dalla A alla D, per ognuna si valuta il rischio per l'arto destro e quello sinistro e infine si prende in considerazione il valore più alto presente tra A e D come primo punteggio per la sezione. A tale valore è possibile aggiungere dei punti in caso di grave stereotipia dei movimenti.

### **v. Additional risk factors (fattori addizionali di rischio)**

Questa sezione permette di aggiungere dei punti alla valutazione per indicare pericoli a carico di guanti inadeguati, contraccolpi o vibrazioni dati dagli strumenti, temperature estremamente basse o la richiesta di grande precisione nell'attività svolta.

Inoltre, è possibile aggiungere fino a due punti per quelle attività il cui ritmo è stabilito da una macchina e ci siano pochi o scarsi momenti di pausa.

---

<sup>9</sup> La scala di Borg (del dr. Gunnar Borg) nasce negli anni 50' e introduce il concetto della percezione dello sforzo. Si basa su interviste soggettive sottoposte a diversi tipi di lavoratori e definisce la fatica percepita dal lavoratore.

## vi. Final evaluation (valutazione finale)

Il punteggio finale è quindi determinato dalla somma dei punteggi precedentemente raccolti nelle sezioni da 1 a 5. Tale valore viene poi moltiplicato per la durata netta dell'attività nel caso in cui venga svolta per meno di 421 minuti per turno.

$$Checklist\ OCRA = \left( \sum_{i=1}^5 points_i \right) * duration\ multiplier \quad (3.3)$$

Come mostrato nella Formula (3.3), il risultato si ottiene per correlazione del rischio e della durata, è quindi necessario essere scrupolosi nella definizione del tempo netto dedicato all'attività. Attività impattanti o molto impattanti, per cui sarebbe necessaria una riprogettazione, possono diventare accettabili con durate basse. In questi casi, è importante essere certi di non sottovalutare lo sforzo richiesto.

## 2. Indice OCRA

A partire dal punteggio ottenuto con l'applicazione della checklist OCRA, è possibile definire un indice correlato ad una scala semaforica valido per le valutazioni di secondo livello. Come descritto in precedenza, i colori associati ai punteggi descrivono il grado di rischio dell'attività e, se necessarie, le correzioni necessarie (dalla sorveglianza sanitaria alla riprogettazione).

Scala semaforica	Checklist OCRA	Indice OCRA	Classificazione del rischio
Verde	0 – 5	0 – 1.5	Ottimale
Verde	5.1 – 7.5	1.6 – 2.2	Accettabile
Gialla	7.6 – 11	2.3 – 3.5	Borderline o leggera
Rossa (bassa)	11.1 – 14	3.6 – 4.5	Leggera
Rossa (media)	14.1 – 22.5	4.6 – 9.0	Media
Rossa (alta)	22.5 +	9.0 +	Alta

Tabella 3.1 - Corrispondenza tra i punteggi OCRA

### 3.3 LE RICHIESTE AL LAVORATORE NEL SETTORE AUTOMOTIVE

Il settore automotive comprende una vasta gamma di attività che riguardano la progettazione, la produzione, la vendita, il servizio e la manutenzione di veicoli a motore, tra cui automobili, motocicli, camion, autobus e altri veicoli commerciali. Il contributo dell'industria automobilistica al PIL (Prodotto Interno Lordo) italiano è significativo, con fatturato di 93 miliardi di euro, pari al 5,6% del PIL, 5.700 imprese e 250 mila occupati, ovvero il 7% dell'intera forza lavoro dell'industria manifatturiera italiana<sup>10</sup>.

Visto il largo numero di impiegati del settore, è di fondamentale importanza analizzare gli aspetti ergonomici e la gestione dei rischi all'interno degli stabilimenti dell'industria dell'autoveicolo al fine di valutare le attività predominanti. Nello specifico, le operazioni coinvolgono la manipolazione di parti e componenti automobilistici, montaggio, assemblaggio, utilizzo di strumenti e macchinari, ovvero richiedono movimenti ripetitivi degli arti superiori e movimentazione manuale dei carichi.

I lavoratori dell'industria automobilistica possono essere esposti, infatti, a rischi specifici derivanti da sforzi ripetitivi delle braccia e delle mani, movimenti delle spalle e posture scomode durante le attività lavorative. Questi movimenti possono portare a disturbi muscolo-scheletrici (DMS) come tendiniti, sindrome del tunnel carpale, borsiti e altre patologie correlate. In particolar modo, risulta fondamentale l'analisi delle posture, in quanto i veicoli volti all'assemblaggio sono sospesi e si muovono su impianti monotrave o carroponti ad altezze variabili da terra.

Questo sollevamento del veicolo, quindi, porta il lavoratore a doversi piegare, sedere, inchinare o ancora inserirsi in spazi stretti in posizioni non neutre per la schiena, le spalle e il collo.

---

<sup>10</sup> Studio di Bilancio per 4Ruote, realizzato dalla Cassa depositi e prestiti, dalla Sace Simest e dall'Anfia, in collaborazione con la società di consulenza AlixPartners.



*Figura 3.6 - Possibili posture in linea di produzione e assemblaggio.*

Come mostrato in Figura 3.6, appare infatti evidente che le attività che l'operatore svolge a contatto col veicolo richiedono sforzi in posizioni non ideali, in particolar modo con la schiena non dritta, le mani che operano sopra l'altezza della testa e, probabilmente, posizioni di torsione e flessione di gomiti e polsi.

Tutte queste caratteristiche rendono lo svolgimento delle attività nel settore automobilistico estremamente logoranti, affaticanti e quindi probabilmente dannose per l'operatore interessato.<sup>11</sup> In tal senso, all'interno del decreto legislativo 67/2011, si definiscono come dannose le attività lavorative che presentino un alto tasso di incidenti, che si svolgano in linea di produzione o che si svolgono nelle ore notturne. I lavoratori impiegati nel settore automotive rientrano quindi all'interno di questa definizione e pertanto sono soggetti ad ammortizzatori sociali specifici e a pensione anticipata, in caso di età congrua con quanto definito dalla legge<sup>12</sup>.

Oltre alla definizione normativa, anche l'alto tasso di malattie professionali, disturbi muscolo-scheletrici e incidenti che avvengono sul luogo di lavoro rendono evidente l'aspetto usurante delle attività nel settore automobilistico. Nello specifico, uno studio coreano<sup>13</sup> ha evidenziato che, su 236 persone ferite vittime di incidenti sul lavoro o di disturbi muscolo-scheletrici causati da attività di movimentazione manuale dei carichi, 124 (52,5%) sono stati

---

<sup>11</sup> Yang, S.T., Park, M.H. and Jeong, B.Y. (2020) Types of manual materials handling (MMH) and occupational incidents and musculoskeletal disorders (MSDS) in Motor Vehicle Parts Manufacturing (MVPM) industry, *International Journal of Industrial Ergonomics*. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169814118301690> (Accessed: 19 August 2023).

<sup>12</sup> DECRETO LEGISLATIVO 21 aprile 2011, n. 67

<sup>13</sup> Vedi nota 10

causati da azioni di sollevamento e/o abbassamento di carichi, seguiti da 92 (39,0%) azioni di spinta o traino e 20 (8,5%) da azioni di trasporto. Questo studio è stato condotto per effettuare una valutazione del rischio per prevedere la possibilità e la gravità degli infortuni e dei MSD nell'ambito della produzione di componenti per veicoli a motore.

Gli eventi sono quindi stati classificati per frequenza di accadimento con i DMS aventi il tasso maggiore (36,9%), seguiti da eventi traumatici da colpo (22,9%), intrappolamento (19,5%) e scivolate o cadute accidentali (9,7%):

- Nel caso degli incidenti, la percentuale causata da azioni di spinta o traino è stata la più alta al 55,7%, seguita da sollevamento/abbassamento di carichi (35,6%) e azioni di trasporto (8,7%).
- Nel caso dei disturbi muscolo-scheletrici, la percentuale causata da sollevamento/abbassamento di carichi è stata la più alta all'81,6%, seguita da azioni di spinta o traino (10,3%) e azioni di trasporto (8,0%).

È tuttavia importante sottolineare che il tasso di incidenti gravi con oltre 180 giorni di assenza dal lavoro era più alto per i lavori impiegati in attività di trasporto, per lavoratrici donne o lavoratori oltre i 50 anni. Si può quindi affermare che le categorie più esposte sono i soggetti spesso individuati come fragili e più tutelati dalla legge (3.2.1 **Error! Reference source not found.**).

Per quanto riguarda le zone del corpo più sollecitate, risulta evidente come la parte bassa della schiena sia quella maggiormente soggetta a disturbi muscolo-scheletrici (63,2%), seguita dalle spalle (17,2%) e dalla regione del braccio e della mano (16,1%).

A causa di queste ripetute sollecitazioni richieste al lavoratore nel settore automobilistico che portano a infortuni e malattie professionali, la normativa ha quindi cercato metodi più evoluti che permettano di proteggere il lavoratore in maniera olistica. Così facendo si vuole passare ad un approccio complessivo che permetta di valutare non solo le forze esercitate o la frequenza dei movimenti, ma anche la postura e l'insieme delle attività che il lavoratore esegue in un dato arco di tempo.

Nel caso specifico del settore automotive, infatti, non è solo l'azione richiesta a gravare sulla salute del lavoratore, bensì l'insieme delle posture e delle posizioni statiche oltre i 4 secondi richiesti per la maggior parte delle attività di assemblaggio. Nasce quindi in Germania uno studio congiunto tra università e aziende produttrici di veicoli, che si pone l'obiettivo di sviluppare un metodo conforme alle normative locali ed europee riguardo la salute e la sicurezza sul lavoro. L'analisi primaria viene svolta in linea di assemblaggio dove vengono studiati gli effetti combinati delle posture, delle forze applicate e con quale distretto del corpo, della movimentazione manuale dei carichi e delle azioni ripetitive degli arti superiori.

Successivamente, valutando il metodo come il migliore attualmente presente nello scenario ergonomico, è stato sviluppato il "European Assembly Work-Sheet", dominato EAWS, che soddisfa le normative UNI e ISO,<sup>14</sup> così da essere incluso nella norma tecnica di riferimento. Così facendo, il metodo nato per soddisfare i bisogni del settore automobilistico è stato adattato per valutare in maniera olistica le richieste al lavoratore di diversi settori industriali a prescindere dal tipo di produzione (di massa, di serie o di piccoli lotti). In particolare, il metodo EAWS si applica molto bene alle attività lavorative con brevi cicli di lavoro (fino a 5 minuti).

### 3.4 MALATTIE PROFESSIONALI E INFORTUNI SUL LAVORO

La malattia professionale è una condizione medica o una patologia che si verifica principalmente a causa dell'esposizione a determinati fattori di rischio presenti nell'ambiente lavorativo. La sua definizione presenta diversi gradi di specificità a seconda dei contesti: preventivo, assicurativo, epidemiologico, ma in generale si può definire come "qualsiasi stato morboso che possa essere posto in rapporto causale con lo svolgimento di una qualsiasi attività lavorativa".<sup>15</sup>

A differenza degli infortuni, che hanno caratteristiche di traumaticità immediata, nel caso delle malattie professionali la salute del lavoro viene compromessa per azione graduale e progressiva dei fattori presenti nell'ambiente di lavoro. Proprio a causa di questo sviluppo

---

<sup>14</sup> Allegato tecnico N.2 - Descrizione del sistema ERGO-UAS. Available at: <https://www.fim-cisl.it/wp-content/uploads/2021/03/CCSL-Allegato-Tecnico-2.pdf> (Accessed: 19 August 2023).

<sup>15</sup> Malattie Professionali, Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali. Available at: <https://www.lavoro.gov.it/temi-e-priorita/salute-e-sicurezza/focus-on/malattie-professionali/pagine/default#:~:text=La%20definizione%20di%20malattia%20professionale,di%20una%20qualsiasi%20attivit%C3%A0%20lavorativa%22>. (Accessed: 19 August 2023).



graduale e della correlazione di numerosi fattori che possono variare nel tempo, risulta molto complesso individuare e accertare un nesso causale tra ambiente di lavoro e malattia. I fattori impattanti possono includere sostanze chimiche, agenti fisici (come vibrazioni, rumore o radiazioni), movimenti ripetitivi, posture scomode o qualsiasi altra circostanza presente nel luogo di lavoro che possa contribuire allo sviluppo della malattia.

Una malattia professionale, quindi, si dovrebbe distinguere da altre malattie in quanto la causa scatenante è direttamente collegata alle attività lavorative e alle condizioni dell'ambiente di lavoro. Ovvero, una persona che svolge una particolare occupazione potrebbe essere più suscettibile a contrarre una specifica malattia a causa delle esigenze del suo lavoro.

Per ovviare ai problemi di riconoscimento del nesso eziologico tra malattie e attività lavorativa, l'Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro (INAIL) predispone ciclicamente una lista di malattie la cui correlazione con il lavoro svolto viene certificata. Perché una malattia o disturbo venga inserito nella lista delle cosiddette “malattie tabellate”, l'INAIL effettua delle indagini epidemiologiche per valutare se un certo disturbo sia prevalente nella popolazione lavorativa di riferimento. Si analizza quindi la porzione di lavoratori malati rispetto all'intera popolazione lavorativa in esame: nel caso in cui questa percentuale sia molto maggiore della percentuale che lo stesso disturbo presenta all'interno dell'intera popolazione non lavorativa, allora è possibile che ci sia una correlazione tra gli eventi.

Con questo sistema definito “tabellare”, non spetta al lavoratore dimostrare l'origine professionale della malattia, infatti, è sufficiente provare l'adibizione a lavorazione tabella (o comunque l'esposizione a un rischio ambientale provocato da quella lavorazione) e l'esistenza della malattia (anch'essa tabellata). È importante, tuttavia, che la denuncia venga effettuata nel termine massimo di indennizzabilità.

Nel contesto industriale, come detto in precedenza, i rischi maggiori derivano dalle operazioni di spinta o traino e dalla movimentazione manuale dei carichi, ovvero dalle azioni ripetitive per arti superiori. Nel 2019 è stata redatta l'ultima versione delle tabelle da parte dell'INAIL, che possono essere consultate nell'Appendice 1 – Malattie tabellate, versione 2019. Risulta quindi evidente la predominanza dei disturbi muscolo-scheletri che riguardano la zona del collo, delle spalle, dei gomiti e dei polsi e infine della bassa schiena.

### 3.4.1 Denunce per malattie professionali e infortuni

Nel contesto della definizione delle malattie tabella, inoltre, è fondamentale il ruolo che la raccolta dei dati e la sua analisi fornisce. Ogni anno l'INAIL tiene traccia di ogni denuncia di infortunio o malattia professionale per confrontare i dati attuali con quelli storici per determinare dei trend ed individuare i punti deboli del sistema lavorativo. È comunque bene ricordare che non tutti gli infortuni vengono denunciati tanto per pressioni sociali e lavorative quanto per questioni ideologiche personali. Cionondimeno, nel 2022 l'INAIL attesta un aumento nel numero di denunce di infortuni sul lavoro del 25,7% rispetto allo stesso periodo dell'anno precedente, per un totale di 697.773 denunce tra gennaio e dicembre. Anche le malattie professionali denunciate, 60.774 nell'anno 2022, sono in aumento rispetto al 2021 di quasi 10. Solo gli infortuni con esito mortale sono in discesa (-10,7%), tuttavia i dati possono essere soggetti all'effetto distorsivo di "punte occasionali" e dei tempi di trattazione delle pratiche. Per quantificare il fenomeno, quindi, è necessario attendere il consolidamento dei dati dell'intero anno solare 2022, con la conclusione dell'iter amministrativo e sanitario relativo a ogni denuncia. Questo per tenere conto di eventuali ritardi nelle denunce di infortunio, in particolare di quelle con esito mortale e da contagio da Covid-19. L'effetto che la pandemia ha avuto e sta avendo sul mondo del lavoro, d'altra parte, è anche visibile nell'aumento generale delle denunce di infortunio, nelle quali rientrano anche i casi di contagio da Coronavirus.

#### 3.4.1.1 Infortuni

Come anticipato all'inizio del paragrafo precedente, il numero di denunce per infortuni sul lavoro è in deciso aumento, ma il dato preoccupante è la tendenza che risulta evidente nel confronto con i dati degli ultimi anni.

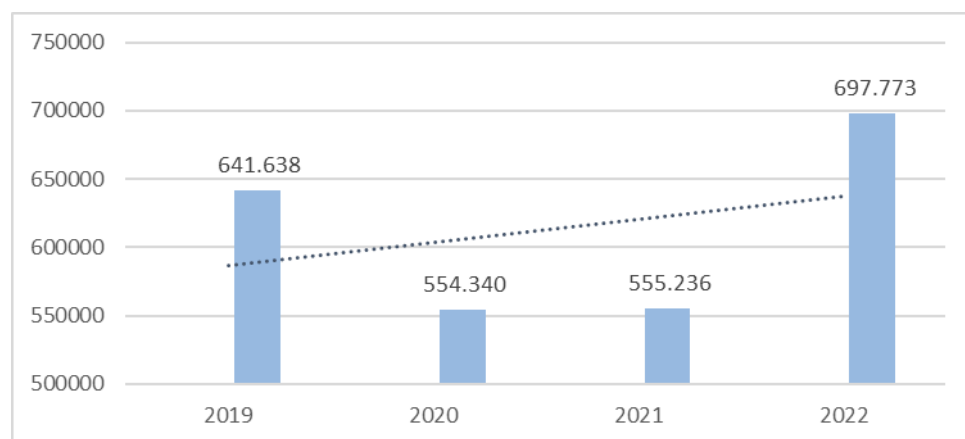


Figura 3.7 - Numero di denunce per infortuni all'anno

Analizzando nello specifico i dati riportati nella Figura 3.7, si può vedere come la chiusura di molti ambienti lavorativi legati alle misure di contenimento attuati negli anni 2020 e 2021 abbia come effetto un minor numero di incidenti. Tuttavia, confrontando l'anno precedente alla pandemia e il primo anno successivo, ovvero 2019 e 2022, si vede come le denunce sono tornate ai livelli pre-pandemici addirittura superandoli del 8%. Questo aumento generalizzato si vede sia negli aumenti di infortuni in occasione di lavoro (+28% rispetto al 2021), sia in quelli in itinere (+11,9% rispetto al 2021).

In particolare, è il settore ospedaliero a registrare il maggiore aumento di denunce (+113%), seguito dal settore dei trasporti (+79%), servizi di alloggio e ristorazione (+55%) e pubblica amministrazione (+54%).

Suddividendo invece i dati per tipologia di attività, si vede come il settore dell'industria e dei servizi sia passato da circa 465.000 casi all'anno ad oltre 575.000 casi, segnando una crescita del 24,5%. Per l'ambito dell'agricoltura, invece, si evidenzia una lieve flessione di meno di mille denunce in un anno (da 26.962 a 25.999), mentre per le attività definite "conto stato" si denota un aumento vertiginoso da 63.873 a 93.434 denunce (+46,3%).

A livello geografico si evidenzia la stessa situazione da nord a sud, con aumenti molto consistenti per tutte le aree italiane, come mostrato nella Tabella 3.2.

<b>Area</b>	<b>Aumento</b>
<b>Nord-Est</b>	+13,3%
<b>Nord-Ovest</b>	+30,4%
<b>Centro</b>	+29,4%
<b>Sud</b>	+37,3%
<b>Isole</b>	+33,2%

*Tabella 3.2 - Aumento percentuale del numero di denunce per area geografica*

Dal punto di vista demografico invece risulta che il numero di denunce effettuate da donne registra un aumento del 42,9% (da 200.557 a 286.522 denunce), mentre le denunce maschili crescono del 16,0% (da 354.679 a 411.251). L'aumento di infortuni si riscontra anche valutando i lavoratori per nazionalità, attestando una crescita del 27% di denunce da lavoratori italiani, un aumento del 20,8% dai lavoratori con origini al di fuori dell'Unione Europea, e un aumento del 15,8% per i lavoratori con origini europee.

D'altra parte, a livello generazionale, emergono incrementi generalizzati per tutte le classi di età. Tuttavia, circa la metà degli infortuni sono subiti da lavoratori nella classe di età tra i 40 e i 59 anni, ovvero coloro che la normativa stessa tutela (3 Le attività predominanti in ambiente industriale).

### 3.4.1.2 Malattie professionali

Così come per gli infortuni, anche le malattie professionali registrano un aumento nel numero di denunce presentate nell'anno solare 2022. Dalle 55.288 denunce del 2021, si è passati a 60.774, ovvero un aumento di quasi 10 punti. Tuttavia, per le malattie professionali non è evidente una crescita rispetto al periodo pre-pandemico, come mostrato in Figura 3.8.

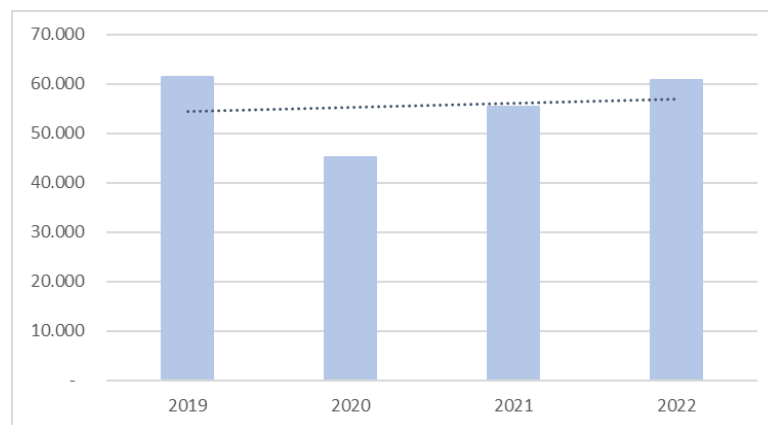


Figura 3.8 - Numero di denunce per malattie professionali all'anno

Per quanto riguarda i settori impattati da questa situazione, si rileva un aumento generalizzato del numero di denunce. Nel settore industriale si registra un aumento del 10% superando le 50.000 denunce all'anno, per l'agricoltura l'aumento è del 9,5% superando le 10.000 denunce mentre per attività Conto Stato si sfiorano le 550 denunce con un aumento oltre il 12%.

A livello geografico si evidenzia la stessa situazione da nord a sud, con aumenti variabili a seconda dell'area considerata, come mostrato nella Tabella 3.3.

Area	Aumento
Isole	+18,4%
Centro	+10,3%
Nord-Ovest	+10%
Sud	+9,5%
Nord-Est	+5,6%

Tabella 3.3 - Aumento percentuale del numero di denunce per area geografica

Da un punto di vista demografico si denota un aumento maggiore per le denunce esposte da uomini (+11,1%) rispetto a quelle presentate da donne (+6,8%). L'aumento di infortuni si riscontra anche valutando i lavoratori per nazionalità, con un aumento del 9,7% di denunce presentate da cittadini italiani e un aumento del 9,9% per quelle presentate da persone con cittadinanza extra-europea. Per i lavoratori con cittadinanza europea, invece, le denunce sono aumentate del 16,8%, passando da 1.285 a 1.501.

Nel complesso, le malattie professionali più diffuse rimangono quelle del sistema osteo-muscolare e del tessuto connettivo, quelle del sistema nervoso e quelle dell'orecchio seguite dai tumori e dalle malattie del sistema respiratorio.

### ***3.4.1.3 Patologie del sistema osseo-muscolare***

Le patologie osteo-muscolari sono disturbi e/o malattie che colpiscono le ossa, le articolazioni, i muscoli, i tendini e i legamenti del sistema muscolo-scheletrico del corpo umano. Queste patologie sono spesso fonte di dolore, possono causare una limitazione dei movimenti o una riduzione della funzionalità fisica: a seconda della gravità della patologia, quindi, si può perdere valore in termini di qualità di vita.

Questo tipo di patologie sono molto diffuse, e sono spesso aggravate con l'avanzare degli anni, con la diminuzione dell'attività fisica, con errori posturali o dal sovraccarico biomeccanico causato da lavori logoranti e ripetitivi. Le patologie muscolo-scheletriche includono malattie con insorgenza breve e acuta, così come le malattie croniche quali mal di schiena, lombalgia, tendini o borsiti.

D'altra parte, le patologie osteo-muscolari possono avere ripercussioni sulla vita sociale dell'individuo e portare a una condizione di disabilità, o di inabilità al lavoro. Uno stile di vita salutare, ovvero il mantenimento del normopeso, il praticare attività fisica e mantenere una vita sociale soddisfacente possono contribuire a ritardare il graduale peggioramento delle patologie legate alla struttura ossea e muscolare. Tuttavia, tanto gli impieghi sedentari quanto quelli pesanti non permettono di equilibrare con l'attività fisica il tempo dedicato all'attività lavorativa. Sia nel caso di personale d'ufficio, sia nel caso di operai, i danni al sistema osteo-muscolare sono infatti evidenti e in netta crescita, come sottolineato dai dati INAIL precedentemente analizzati.

### 3.5 VALORE DEL PREMIO ASSICURATIVO

In Italia, l'ente assicurativo per gli infortuni sul lavoro è conosciuto come INAIL (Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro) e si occupa dell'assicurazione obbligatoria contro gli infortuni sul lavoro e le malattie professionali. Il suo scopo principale è quello di proteggere l'assicurato, in questo caso le aziende, da rischi finanziari imprevisti legati a eventi dannosi. Questi eventi possono includere incidenti, malattie, infortuni, responsabilità civile e altri rischi specifici coperti dalla polizza assicurativa.

Come per ogni tipo di assicurazione, si paga un premio regolare alla compagnia assicurativa, ovvero all'INAIL, in cambio della garanzia che, in caso di verificarsi dell'evento assicurato, la compagnia pagherà un risarcimento o fornirà il supporto finanziario previsto dalla polizza.

Gli elementi che compongono un'assicurazione includono:

- La **polizza** è il contratto scritto che definisce i termini e le condizioni dell'assicurazione, quindi specifica cosa è coperto, quali eventi sono esclusi, l'importo massimo di copertura (limite massimo di indennizzo), la durata della copertura e altri dettagli pertinenti.
- **L'indennizzo o il risarcimento** è l'ammontare che l'assicurazione pagherà all'assicurato se l'evento è coperto dalla polizza e il reclamo è valido. Questo può essere un rimborso delle spese sostenute o un pagamento per compensare le perdite subite.
- La **franchigia**, tipicamente l'importo che l'assicurato deve coprire personalmente prima che la compagnia assicurativa inizi a pagare l'indennizzo, per i casi di assicurazione del lavoro è tradotta in giorni.
- Il **premio** la somma di denaro pagata dall'assicurato alla compagnia assicurativa. In particolare, l'assicurazione stipulata con l'INAIL funziona con il sistema bonus/malus, ovvero in caso di incidenti il premio da pagare aumenterà, anche in funzione della gravità dell'evento dannoso.

### 3.5.1 Oscillazione dei premi assicurativi INAIL

A partire dal 2019, l'Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro ha rivisto l'ammontare dei premi, vista l'evoluzione dei processi lavorativi, dei cambiamenti economici, delle nuove forme di organizzazione del lavoro e dello sviluppo tecnologico. Si è proceduto per aggregare le lavorazioni esistenti, si sono istituite nuove voci per rispondere alle nuove possibilità del mercato, si è ampliata la nomenclatura per le lavorazioni in fase di sviluppo.

L'ordinamento delle tariffe avviene secondo una classificazione tecnica delle lavorazioni, e con essa si stabiliscono i relativi tassi medi. Esistono quattro grandi categorie (industria, artigianato, terziario, altre attività), a loro volta suddivise in dieci grandi gruppi. Successivamente, le lavorazioni vengono raccolte in comparti produttivi omogenei, in modo da attribuire tassi differenti in funzione dello specifico rischio lavorativo assicurato. In particolare, per lavorazione si intende il ciclo di operazioni necessario perché sia realizzato quanto in esse descritto: sono quindi comprese le operazioni complementari e sussidiarie, qualora siano svolte presso lo stesso datore di lavoro ed in connessione operativa con l'attività principale ancorché siano effettuate in luoghi diversi. Nel caso in cui, le attività lavorative siano articolate in più lavorazioni, la classificazione delle lavorazioni è effettuata applicando la corrispondente voce di tariffa per ciascuna lavorazione. Qualora la lavorazione non fosse prevista, sarà necessario procedere con l'analisi tecnica delle operazioni fondamentali così da ricondurla a specifiche classificazioni tariffarie.

Insieme con la definizione dei tassi medi, l'INAIL stabilisce una certa oscillazione dei premi in base all'andamento del numero di eventi dannosi accaduti nel triennio in esame.

- Per le aziende con almeno due anni di attività, si prevede un'oscillazione del tasso in base agli interventi di prevenzione. I criteri di applicazione e le percentuali di riduzione verranno stabiliti in relazione alla dimensione della Posizione assicurativa territoriale<sup>16</sup> (Pat) nel suo complesso e non a quella delle singole voci della Pat.

---

<sup>16</sup> La Posizione assicurativa territoriale corrisponde al codice identificativo attribuito dall'INAIL a ciascuna sede di lavoro o unità locale delle Aziende.

- Per le nuove attività costituite dopo il 2019 con meno di due anni di esercizio, è necessario effettuare interventi migliorativi in materia di salute e sicurezza per poter accedere alla riduzione del premio. La riduzione per le Pat nel primo biennio di attività è stabilita in misura fissa dell'8%.

Come anticipato, il sistema di oscillazione per andamento infortunistico (bonus-malus) si basa sia sugli oneri economici sostenuti dall'Istituto sia si basa sulla gravità delle conseguenze degli eventi lesivi. Inoltre, l'oscillazione viene valutata con riferimento alla posizione assicurativa territoriale nel suo complesso e non più alle singole voci di lavorazione.

Per stabilire le conseguenze di ogni evento lesivo vengono espresse in Giornate lavorative equivalenti perse (Gle), oltre a considerare anche gli infortuni mortali senza superstiti e gli eventi lesivi per i quali sia accertata la responsabilità del datore di lavoro, indipendentemente dagli oneri effettivamente recuperati dall'Inail.

I parametri per la valutazione di ciascun evento lesivo sono:

1. **L'inabilità temporanea:** valutata in numero di giorni indennizzati al netto della franchigia;
2. **L'inabilità permanente:** calcolata moltiplicando il grado di inabilità<sup>17</sup> dello specifico evento per le Giornate lavorative equivalenti per grado (Gleg)<sup>18</sup>, come mostrato nella formula (3.4).

$$\text{Inabilità permanente} = \text{Gleg} * \text{grado inabilità} \quad (3.4)$$

3. **Casi mortali:** misurati sulla base del massimo grado di invalidità, moltiplicando cioè il grado 100 per il Gleg, come mostrato nella formula (3.5).

$$\text{Casi mortali} = \text{Gleg} * 100 \quad (3.5)$$

Per valutare l'oscillazione da applicare, si confrontano due Indici di sinistrosità aziendale (ISA) e di sinistrosità media ponderata (ISMp), all'interno del triennio di osservazione di riferimento.

---

<sup>17</sup> Per grado di inabilità si intende quello attribuito allo specifico evento lesivo del quale si misurano le conseguenze e non quello che tiene conto anche di eventuali inabilità pregresse.

<sup>18</sup> Il parametro *Gleg* è applicato a tutti gli eventi con almeno un grado di inabilità permanente, inclusi quelli con grado compreso tra 1 e 5



L'indice ISA è calcolato, con riferimento ai dati della Posizione assicurativa territoriale, come rapporto tra il totale delle giornate lavorative equivalenti (Gle) nel triennio di osservazione e il totale degli operai-anno nello stesso periodo, come mostrato nella formula (3.6).

$$ISA = \frac{\sum_a^3 Gle_a}{\sum_a^3 Operai_a} \quad (3.6)$$

L'indice ISMp è calcolato a partire dagli indici di sinistrosità media (ISM) di ciascuna voce di lavorazione attribuita alla Pat da analizzare, ovvero considera ogni voce/settore di attività della tariffa con riferimento agli eventi lesivi e agli operai-anno nel suo complesso, come mostrato nella formula (3.7).

$$ISM = \frac{eventi.lesivi_i}{operai_i} \quad (3.7)$$

L'indice di sinistrosità media ponderata, è invece la media degli ISM delle voci di lavorazione della Pat ponderata con gli operai-anno della Pat stessa, come mostrato nella formula (3.8).

$$ISMp = \frac{\sum ISM_i * operai_i}{\sum operai} \quad (3.8)$$

Infine, si valuta l'indice di sinistrosità media ponderata della Pat in esame con l'indice di sinistrosità aziendale, che rappresenta la sinistrosità di una posizione assicurativa territoriale tipo, conformata come quella in esame. Confrontando le due sinistrosità si calcola quindi l'indice di sinistrosità aziendale riproporzionato (ISAr), come mostrato nella formula (3.9).

$$ISAr = \frac{ISA - ISMp}{ISMp} \quad (3.9)$$

Grazie a quest'ultimo indice si stabilisce se il premio, rispetto a quello calcolato con il tasso medio, subirà una diminuzione (caso di ISAr < 0) o un aumento (caso di ISAr > 0), come mostrato nelle Tabella 3.4 Tabella 3.5.

NPAT	Valori ISAR	Aliquota
NPAT <= 50	-0,50 < ISAR < 0	-7%
	-0,75 < ISAR <= -0,50	-11%
	-0,90 < ISAR <= -0,75	-14%
	-1 < ISAR <= -0,90	-18%
	ISAR = -1	-21%
50,01 <= NPAT <= 100	-0,50 < ISAR < 0	-8%
	-0,75 < ISAR <= -0,50	-12%
	-0,90 < ISAR <= -0,75	-16%
	-1 < ISAR <= -0,90	-20%
	ISAR = -1	-24%
NPAT >=100,01	-0,50 < ISAR < 0	-10%
	-0,75 < ISAR <= -0,50	-15%
	-0,90 < ISAR <= -0,75	-20%
	-1 < ISAR <= -0,90	-25%
	ISAR = -1	-30%

Tabella 3.4 - Riduzione percentuale del premio in funzione dell'indice di sinistrosità aziendale riproporzionato

NPAT	Valori ISAR	Aliquota
NPAT <= 50	$0 < (1/3) \times \text{ISAR} \leq 1/2$	+5%
	$1/2 < (1/3) \times \text{ISAR} \leq 1$	+7%
	$1 < (1/3) \times \text{ISAR} \leq 2$	+11%
	$2 < (1/3) \times \text{ISAR} \leq 3$	+14%
	$3 < (1/3) \times \text{ISAR} \leq 4$	+18%
	$(1/3) \times \text{ISAR} > 4$	+21%
50,01 <= NPAT <= 100	$0 < (1/2) \times \text{ISAR} \leq 1/2$	+5%
	$1/2 < (1/2) \times \text{ISAR} \leq 1$	+8%
	$1 < (1/2) \times \text{ISAR} \leq 2$	+12%
	$2 < (1/2) \times \text{ISAR} \leq 3$	+16%
	$3 < (1/2) \times \text{ISAR} \leq 4$	+20%
	$(1/2) \times \text{ISAR} > 4$	+24%
NPAT >=100,01	$0 < \text{ISAR} \leq 1/2$	+5%
	$1/2 < \text{ISAR} \leq 1$	+10%
	$1 < \text{ISAR} \leq 2$	+15%
	$2 < \text{ISAR} \leq 3$	+20%
	$3 < \text{ISAR} \leq 4$	+25%
	$\text{ISAR} > 4$	+30%

Tabella 3.5 – Aumento percentuale del premio in funzione dell'indice di sinistrosità aziendale riproporzionato

Questo sistema, basato sull'effettivo andamento degli eventi dannosi, fa leva sugli obiettivi di profittabilità e di riduzione dei costi delle aziende, in quanto stimola i datori di lavori perché investano in tecnologie più sicure e tutelanti così da non aumentare il premio ogni anno. Se infatti le aziende virtuose sono premiate con una riduzione fino al 30% del premio assicurativo, quelle organizzazioni che sorvolano sulla sicurezza rischiano un aumento fino al 30% del premio.

Inoltre, anche in ambito internazionale si assiste ad un cambiamento nella definizione delle tassazioni delle aziende, che in Spagna già pagano delle sovrattasse per le emissioni eccessive di carbonio<sup>19</sup>. Anche la stessa Unione Europea con il piano Next Generation UE sponsorizza la produzione sostenibile, per una crescita economica basata sulla digitalizzazione e il lavoro dignitoso<sup>20</sup>. In tal senso, è plausibile che oltre alla tassazione sulla base delle emissioni reali venga aggiunta una sovrattassa in caso di un numero eccessivo di lavoratori infortunati o vittima o di malattie professionali. È infatti noto che, per molte organizzazioni commerciali, i miglioramenti vengano introdotti solo in caso di tornaconto, che sia esso economico o di immagine.

---

<sup>19</sup> Ormazabal, G. (2023) Lo que Los Números Pueden hacer por la sostenibilidad, El País. Available at: <https://elpais.com/economia/negocios/2023-08-11/lo-que-los-numeros-pueden-hacer-por-la-sostenibilidad.html> (Accessed: 19 August 2023).

<sup>20</sup> Recovery plan for Europe (no date) European Commission. Available at: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/recovery-plan-europe\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/recovery-plan-europe_en) (Accessed: 19 August 2023).



## 4 GLI ESOSCHELETRI

---

Questo capitolo intende analizzare il contesto industriale attuale, considerando la sua evoluzione e il ruolo che l'automazione ha svolto e sta svolgendo in termini di efficienza e innovazione. Si vuole quindi introdurre il tema della produzione automatizzata e valutare il relativo ruolo dell'essere umano nel nuovo ambiente industriale denominato 4.0, per analizzare le possibili innovazioni volte a tutelare la sua posizione nelle attività lavorative tramite l'utilizzo di esoscheletri industriali indossabili.

### 4.1 IL CONTESTO

Il concetto di produzione industriale, intesa come l'uso di macchinari e tecnologie per produrre beni in grande quantità, nasce diversi secoli fa quando la Repubblica di Venezia produceva una nave al giorno grazie a sistemi simili ad una catena di montaggio. Tuttavia, la produzione industriale come viene intesa in concezione moderna ha avuto origine durante la Rivoluzione Industriale, ovvero in quel periodo storico di profondo cambiamento economico e sociale che ha avuto inizio nella seconda metà del XVIII secolo, principalmente nel Regno Unito. Grazie all'utilizzo di ruote idrauliche o dei motori a vapore, la produzione artigianale viene superata per arrivare a produrre in serie la maggior parte dei prodotti dell'industria tessile.

La data tradizionalmente considerata come l'inizio della Rivoluzione Industriale è il 1760, quando l'industria tessile fu rivoluzionata dall'invenzione del filatoio multiplo da parte di James Hargreaves. Questa macchina permetteva di produrre filati in modo più rapido ed efficiente rispetto ai metodi tradizionali precedentemente diffusi. Successivamente, si sono verificati numerosi altri sviluppi tecnologici nel settore tessile, che hanno contribuito a rendere la produzione tessile sempre più meccanizzata.

La diffusione delle macchine a vapore, come la "*Watt steam engine*" di James Watt, ha poi accelerato ulteriormente la Rivoluzione Industriale, portando alla meccanizzazione di altre industrie, come quella siderurgica, mineraria e delle macchine.

A partire dal XX secolo, inoltre, le forme di energia presenti sul mercato hanno permesso un ulteriore avanzamento della tecnologia industriale, che d'ora in poi può sfruttare l'elettricità come alimentazione per i macchinari. Questo ulteriore cambiamento nel paradigma produttivo è anche supportato dall'introduzione alla catena di montaggio e alla produzione di massa, ovvero alle nuove teorie di gestione scientifica e di razionalizzazione della produzione.

L'arrivo dei computer, invece, negli anni 60 del Novecento ha posto le basi per la terza rivoluzione industriale, che ha portato un radicale cambiamento in termini di ripetibilità delle azioni svolte. Le macchine hanno infatti iniziato ad essere controllate in modo elettronico in base a comandi dati nell'unità di governo: questo sistema inizia a garantire quindi ripetibilità, standardizzazione e qualità elevate. In particolare, la possibilità di cambiare il software della macchina per poter cambiare il tipo di output emesso genera una rivoluzione nel modo di pensare e disegnare la produzione industriale.

Quelle che si denota nell'evoluzione della produzione industriale è il ruolo centrale che il rapporto tra uomo e macchina svolge:

1. Prima del 1760, la forza principale per la produzione è quella umana, degli artigiani che battono il ferro o dei pellai che conciano le pelli. L'unico aiuto in termini energetici era fornito dal lavoro animale.
2. Con la Prima Rivoluzione industriale, invece, la forza umana e animale viene gradualmente affiancata da quella delle macchine a vapore, che rimanevano pur sempre azionate dall'essere umano.
3. A partire dalla Seconda Rivoluzione industriale, l'energia elettrica ha invece permesso che l'essere umano fosse solo di supporto al macchinario, portando allo sfruttamento generale delle catene di montaggio introdotte dagli stabilimenti Ford. A livello teorico quindi si delinea il concetto di meccanizzazione e di razionalizzazione del lavoro, grazie ai principi della gestione scientifica di Frederick W. Taylor. Questa nuova filosofia del lavoro porta però ad alienazione e mancanza di identità negli impiegati.
4. L'introduzione dell'automazione a partire dagli anni 50 del Novecento effettuata negli stabilimenti Ford ha posto le basi per lo sfruttamento di sistemi di movimentazione dei componenti compresi il carico e lo scarico dei suddetti nelle macchine. È anche grazie alle nuove macchine utensili a controllo numerico (NC) che si ottiene un

- maggior controllo sulla produzione. In linea di produzione, quindi, iniziano a trovare spazio ingegneri e manager addestrati al controllo delle nuove innovative macchine.
5. Successivamente all'introduzione delle macchine a controllo numerico si ottiene un ulteriore avanzamento della tecnica, che porta alle prime applicazioni industriali dei computer digitali. L'invenzione del controllo numerico diretto (DNC) e del controllo numerico computerizzato (CNC) hanno dato modo all'essere umano di essere meno impiegato in lavori di fatica, così da poter controllare le macchine tramite i computer che le controllavano. È quindi in questo momento che l'automazione prende piede anche nei processi di ingegneria grazie ai sistemi CAD e CAM.
  6. L'evoluzione quindi porta l'automazione anche alle attività di elaborazione dei dati, fino all'inclusione di robot nella produzione grazie all'utilizzo di tecnologie CIM (Computer-Integrated Manufacturing). Si pongono così le basi per lo sviluppo della produzione integrata sulla base delle informazioni raccolte, così da considerare le necessità di tutte le operazioni svolte in un'azienda manifatturiera.

Risulta quindi evidente che l'evoluzione della produzione ha permesso all'essere umano di essere riallocato in posizioni di lavoro meno faticose, logoranti o stressanti. Se inizialmente l'operaio svolgeva le sue attività in catena di montaggio su una sola macchina, senza aver visibilità del prodotto finito e senza sentirsi parte del processo, l'evoluzione industriale ha permesso che uno stesso lavoratore veda più fasi della produzione così da essere soddisfatto del proprio lavoro e quindi più efficace nello svolgerlo. È anche importante, infatti, sottolineare l'aspetto psicologico che il lavoro gioca sul benessere emotivo del lavoratore: nasce negli anni 60 l'interesse per la psicologia del lavoro e del ruolo del dipartimento delle "risorse umane".

Lo psicologo statunitense Frederick Herzberg ha infatti analizzato le opinioni di diverse persone con lavori in settori molto distanti l'uno dall'altro per valutare la motivazione e la soddisfazione che l'attività lavorativa genera negli impiegati. La sua teoria<sup>21</sup> delinea quindi due dimensioni della soddisfazione lavorativa: motivazione e "igiene". Le questioni igieniche (che comprendono le politiche aziendali, la supervisione, il salario, le relazioni interpersonali

---

<sup>21</sup> Syptak, J.M., Marsland, D.W. and Ulmer, D. (1999) Job satisfaction: Putting theory into practice, Family Practice Management. Available at: <https://www.aafp.org/pubs/fpm/issues/1999/1000/p26.html#:~:text=Frederick%20Herzberg%20theorized%20that%20employee,more%20productive%2C%20creative%20and%20committed.> (Accessed: 19 August 2023).

e le condizioni di lavoro), secondo Herzberg, non possono motivare i dipendenti, ma possono ridurre al minimo l'insoddisfazione, se gestite correttamente. In altre parole, possono creare insoddisfazione solo se sono assenti o gestiti male. Gli aspetti motivatori, invece, creano soddisfazione rispondendo ai bisogni individuali di significatività e di crescita personale (ovvero i risultati, il riconoscimento, il lavoro stesso, la responsabilità e l'avanzamento). Una volta affrontate le aree di igiene, sempre secondo Herzberg, gli aspetti motivatori promuoveranno la soddisfazione sul lavoro e incoraggeranno la produzione.

La definizione del ruolo del lavoratore risulta quindi fondamentale per evitare stress emotivi e psicologici che portino a licenziamenti o, peggio, infortuni e malattie professionali. Sono stati quindi delineati tre tipi di riprogettazione<sup>22</sup> del lavoro per rispondere ai problemi associati ad una pianificazione impropria.

#### 4.1.1 L'industria 4.0

L'Industria 4.0 è la continuazione del processo di evoluzione e innovazione tecnologica introdotto nel paragrafo precedente. Essa è caratterizzata dall'integrazione di tecnologie avanzate, tra cui l'*internet of things* (IoT), l'intelligenza artificiale (AI), la robotica avanzata, la fabbricazione additiva (volgarmente detta *stampa 3D*), la realtà aumentata (AR) e l'integrazione orizzontale e verticale, ovvero la comunicazione macchina-macchina (M2M). Tutte queste tecnologie sono impiegate per creare sistemi intelligenti e connessi in grado di rendere i processi produttivi più efficienti, flessibili e personalizzabili.

In particolar modo, è l'utilizzo di robotica avanzata e di sistemi di assistenza intelligente volti a migliorare la sicurezza e aumentare la produttività dei lavoratori umani che rappresentano il vero cambiamento nel paradigma produttivo. Non solo si migliorano i macchinari rendendoli più intelligenti, capaci di analizzare la situazione circostante e di adattarsi per essere estremamente efficienti: la fabbrica può essere resa più sicura per l'essere umano grazie a sistemi di robotica avanzata e all'integrazione di robot collaborativi.

Noti anche come *co-bot* o *collaborative robot*, questi tipi di robot sono progettati per lavorare in stretta interazione con gli esseri umani, senza la necessità di barriere fisiche di

---

<sup>22</sup> Zeragia, T. (2022) The Overview of Types and Importance of Job Redesign, Study.com Available at: [https://study.com/learn/lesson/job-redesign-overview-types.html#:~:text=Three%20common%20types%20of%20job,job%20enlargement%2C%20and%20job%20rotation.\(Accessed:19August2023\).](https://study.com/learn/lesson/job-redesign-overview-types.html#:~:text=Three%20common%20types%20of%20job,job%20enlargement%2C%20and%20job%20rotation.(Accessed:19August2023).)



sicurezza, al momento richieste dalla **normativa**. A differenza dei robot industriali tradizionali, che devono operare in ambienti isolati e separati dai lavoratori umani, i *co-bot* sono progettati per condividere lo stesso spazio di lavoro con le persone, consentendo una collaborazione sicura e diretta tra macchine e operatori umani. Essi sono infatti dotati di avanzati sistemi di sicurezza e sensoristica atti a rilevare la presenza di esseri umani nell'area di lavoro. Se un *co-bot* rileva una potenziale collisione o un movimento imprevisto, si ferma immediatamente o rallenta per prevenire lesioni o danni. D'altra parte, questo tipo di robot è progettato in maniera che risulti compatto e di piccole dimensioni per occupare meno spazio e facilitare la loro integrazione in ambienti di lavoro esistenti

Inoltre, sono progettati per essere facilmente programmabili e adattabili a diverse attività e compiti. La loro flessibilità permette di cambiare rapidamente le configurazioni e/o le attività senza dover apportare modifiche sostanziali all'hardware (*soft automation*<sup>23</sup>). In particolare, sono solitamente dotati di interfacce utente intuitive che consentono ai lavoratori di programmarli o *ri-programmarli* senza bisogno di competenze tecniche avanzate, ovvero semplifica la loro integrazione nell'ambiente di lavoro e riduce il tempo di configurazione.

Oltre ad offrire numerosi vantaggi tra cui alta produttività, riduzione del carico di lavoro fisico per i dipendenti, ottimizzazione delle operazioni e capacità di affrontare compiti ripetitivi o pericolosi senza supervisione umana, essi sono progettati per alleggerire il lavoro svolto dall'essere umano. Possono, infatti, essere utilizzati in diverse applicazioni, tra cui il montaggio, la logistica, il confezionamento, l'ispezione, la lavorazione e altre attività che richiedono movimentazione manuale dei carichi, azioni ripetitive degli arti superiori, posture scorrette o applicazione di forze.

Tuttavia, non sempre la collaborazione tra robot e umano è la soluzione ai problemi della produzione industriale. In diversi contesti, infatti, è complesso riprogettare le attività in modo da dare compiti specifici al robot e lasciare quelli più creativi o di *problem-solving* al collega umano. Nel caso dell'assemblaggio di veicoli, ad esempio, parte del compito è anche quella di supervisione del pezzo finito o di monitoraggio delle condizioni del pezzo di partenza. In

---

<sup>23</sup> Hard, Soft, or Programmable Automated Assembly Systems (2020) Norwalt. Available at: <https://www.norwalt.com/hard-soft-or-programmable-automated-assembly-systems/#:~:text=Soft%20automation%20is%20considered%20an,loss%20of%20time%20for%20changeovers> (Accessed: 19 August 2023)..

questo caso, quindi, l'essere umano non può essere sostituito da un robot ma allo stesso tempo non è accettabile che continui ad essere vittima di infortuni o malattie professionali.

## 4.2 ESOSCHELETRI PASSIVI E ATTIVI

Per venire incontro alle necessità di sicurezza degli operatori e soprattutto per conciliare le richieste di produttività ed efficienza del mercato, sono in fase di sviluppo una serie di dispositivi chiamati esoscheletri. Noti anche come esoscheletri industriali o esoscheletri industriali attivi, essi sono dispositivi indossabili progettati per assistere i lavoratori in attività fisicamente impegnative, in particolare quelle svolte in ambienti industriali e produttivi. Queste strutture nascono per aumentare la forza, la resistenza e le capacità fisiche complessive di chi li indossa, riducendo così il rischio di affaticamento, tensione e lesioni. È stato importante, anche visto il periodo economico e sociale in cui ci troviamo, sviluppare dei dispositivi che permettessero di ridurre il carico di lavoro attribuito al dipendente, ma non solo.

L'evoluzione della produzione, come visto precedentemente, ha sempre dovuto relazionare le necessità del mercato con quelle di tutela del benessere del lavoratore per cui, da una parte, con l'allargamento dei confini normativi a supporto dei robot, il lavoratore è già stato sgravato di una parte delle attività più logoranti presenti in linea di produzione. Tuttavia, è anche importante non perdere la somma delle esperienze, conoscenze, abilità e competenze acquisite da un operatore durante il suo percorso di lavoro per sostituirlo con un robot programmato. Inoltre, le amministrazioni locali non hanno la capacità di gestire un totale stravolgimento in termini di occupazione, soprattutto visto il livello di educazione medio per gli operatori del settore industriale i cui posti potrebbero essere sostituiti<sup>24</sup>. Insieme alle stime di disoccupazione in aumento, infatti, si deve anche prevedere un aumento dell'esborso statale al fine di sostenere i probabili disoccupati e per mantenere valido il supporto agli infortunati e malati professionali tramite la sanità pubblica, anch'essi in aumento.

Per quanto ancora in fase di sviluppo, i primi test includono tra i vantaggi degli esoscheletri industriali la riduzione del rischio di infortuni, il miglioramento della produttività dei lavoratori e il miglioramento dell'esperienza lavorativa complessiva in ambienti fisicamente

---

<sup>24</sup> Signorelli, A. (2017) Assolombarda - i posti di lavoro a Rischio Automazione in Italia, Assolombarda.it. Available at: <https://www.assolombarda.it/centro-studi/i-posti-di-lavoro-a-rischio-automazione-in-italia> (Accessed: 19 August 2023).

impegnativi. Pur contando le sfide ulteriori che si presentano per migliorare la vestibilità, la gestione del potenziale disagio causato dall'uso prolungato e i costi di acquisizione e manutenzione di questa tecnologia, il trade-off risulta positivo per alcuni tipi di esoscheletri. Nello specifico, gli esoscheletri definiti passivi hanno costi molto bassi e permettono un netto miglioramento in termini di fatica e logoramento fisico.

#### **4.2.1 Esoscheletri passivi**

L'esoscheletro è un dispositivo indossabile a sostegno del corpo umano progettato e realizzato per ridurre i carichi biomeccanici, la fatica viene scaricata dal lavoratore grazie al supporto e al potenziamento delle sequenze di movimenti compiuti tramite l'assistenza elettromeccanica, ovvero grazie alla combinazione di componenti meccanici quali molle o cinghie elastiche. In questo caso, l'esoscheletro viene definito passivo vista l'assenza di componenti motorizzati o attuatori alimentati. Questi dispositivi sfruttano tanto i principi dell'ingegneria e quanto dell'ergonomia per distribuire il carico corporeo in modo più uniforme, riducendo così la fatica muscolare e l'affaticamento durante attività fisicamente impegnative.

Gli esoscheletri passivi sono spesso utilizzati in ambienti industriali, ovvero in tutte quelle situazioni in cui i lavoratori devono eseguire compiti che richiedono sollevamento, spostamento di carichi pesanti o ripetizione di movimenti faticosi. Grazie alla struttura ergonomica, seguono i contorni naturali del corpo umano, in modo da fornire supporto senza compromettere la libertà di movimento. I primi tipi di esoscheletri indossabili hanno infatti visto una bassa diffusione proprio a causa della poca vestibilità o adattabilità alle diverse corporature degli operatori. Erano infatti pesanti e venivano percepiti come di poco aiuto, mentre ad oggi possono essere realizzati utilizzando materiali leggeri ma resistenti, come leghe di alluminio o materiali compositi, in modo da mantenere il peso complessivo relativamente basso.

Riguardo la distribuzione del carico, è importante sottolineare che gli esoscheletri passivi sono progettati per distribuire il carico su diverse aree del corpo, tipicamente le anche e le gambe; tuttavia, i possibili effetti di tale caratteristica non possono ancora essere visibili per mancanza di dati storici. È comunque importante sottolineare che i nuovi design consentono ai dispositivi di adattarsi ai movimenti del corpo e aiutano a ridurre la tensione su articolazioni specifiche: i più diffusi sono nati per tutelare le spalle e la schiena. I dispositivi di più recente costruzione, inoltre, permettono sia di mantenere una postura adeguata durante l'esecuzione di compiti fisicamente impegnativi, sia di eseguire una varietà di attività senza restrizioni significative.

Un esempio di esoscheletro passivo giudicato in maniera positiva dagli operatori è la “*chairless chair*”<sup>25</sup>, nato per quei lavoratori che passano tante ore in piedi e devono anche inginocchiarsi o camminare tra le varie attività.



*Figura 4.1 - Esempi di utilizzo della "chairless chair"*

Come mostrato in Figura 4.1, questo tipo di esoscheletro permette di assumere posizioni che gravano sulla parte bassa della schiena e sulle gambe scaricando però il peso dell'operatore a terra. La struttura, quindi, permette sia di muoversi e camminare, sia piegarsi e inginocchiarsi senza però aggravare le condizioni della schiena.

---

<sup>25</sup> The chairless chair 2.0 - Noonee - Chairless chair (2022) Noonee. Available at: <https://www.noonee.com/the-chairless-chair-2-0/?lang=en> (Accessed: 19 August 2023).

La stessa azienda produttrice ricorda ai datori di lavoro che la popolazione lavorativa non sta ringiovanendo e che è necessario diventare più intelligenti per tutelare e proteggere la salute dei dipendenti. Con questo obiettivo ben chiaro, è stato infatti anche ripensato l'insieme di giunti e articolazioni dell'esoscheletro in modo che migliori la postura per quelle attività che si possono fare da seduti. La nuova versione di questo tipo di esoscheletro passivo è inoltre più leggera della precedente del 25%, si adatta a corporature tra gli 1,5 metri e i 2 metri di altezza e si può indossare in pochi secondi.

In conclusione, i vantaggi apportati dagli esoscheletri passivi sono sicuramente le dimensioni e il peso ridotti, oltre a non avere bisogno di essere ricaricati o alimentati da corrente elettrica. Tuttavia, al momento sono sviluppati solo per attività o per gruppi muscolari molto specifici, apportando quindi poca o nulla assistenza al resto del corpo. Anzi, è possibile che alcune di queste strutture si rivelino dannose per altri gruppi articolari o muscolari, tipo l'area delle anche, delle ginocchia o delle caviglie.

#### **4.2.2 Esoscheletri attivi**

Gli esoscheletri attivi, a differenza di quelli passivi, incorporano componenti motorizzati o attuatori che amplificano la forza muscolare del corpo umano. Questi dispositivi sono progettati per migliorare la forza, la resistenza e la capacità complessiva di eseguire attività fisicamente impegnative.

Gli esoscheletri attivi sono quindi dotati di motori e attuatori azionati da energia elettrica o da altre fonti di alimentazione. Inoltre, molte varianti di esoscheletri attivi includono sensori che monitorano i movimenti e la postura del corpo dell'utente. Ciò consente al dispositivo di adattarsi dinamicamente alle esigenze dell'utente e di fornire l'assistenza necessaria.

È anche possibile preimpostare o regolare dall'utente una serie di controlli elettronici che regolano la quantità di assistenza fornita in base ai movimenti dell'utente e alle attività svolte. Risulta fondamentale il controllo delle attività visto che esoscheletri attivi amplificano la forza muscolare dell'utente, consentendo loro di sollevare oggetti particolarmente pesanti o compiere movimenti faticosi.

Le applicazioni per questo tipo di dispositivi sono varie, spaziano tra diversi settori, come l'industria manifatturiera, la logistica, la sanità e la riabilitazione, in quanto sia per compiti di sollevamento pesi che per supportare la riabilitazione post-infortunio. La loro flessibilità, infatti, consente l'esecuzione una vasta gamma di movimenti e attività: al contrario di quelli passivi, gli esoscheletri attivi sono estremamente adattabili a diverse attività e possono offrire un alto grado di assistenza al lavoratore.

D'altra parte, come per quelli passivi, l'obiettivo principale degli esoscheletri attivi è migliorare la salute del lavoratore e garantire una maggiore sicurezza; tuttavia, questo avviene tramite il miglioramento delle prestazioni fisiche dell'utente, l'aumento dell'efficienza delle attività lavorative e la riduzione del rischio di lesioni e affaticamento. Di contro, la maggiore complessità di queste struttura porta a delle necessità specifiche, come la formazione agli operatori e la personalizzazione del dispositivo sulla corporatura dell'utilizzatore finale, visto anche il loro elevato peso.

Gli esoscheletri attivi, avendo all'interno della loro struttura molti sistemi elettronici alimentati a batteria, sono molto pesanti e ingombranti, ovvero non possono essere indossati velocemente e utilizzati in spazi stretti. Inoltre, vista la necessità di alimentazione, si deve prevedere dei tempi di *downtime* dell'esoscheletro per poterlo ricaricare.

In Figura 4.2 è presente un esempio di esoscheletro attivo per il supporto alla movimentazione manuale dei carichi.



Figura 4.2 - Foto dell'esoscheletro German Bionic Cray X

Avendo una struttura più complessa rispetto ad un semplice esoscheletro passivo, questo tipo di dispositivo prevede di dare supporto sia alle azioni di movimentazione manuale dei carichi sia durante la camminata tra le postazioni di lavoro. Permette di scaricare il peso sollevato fino a 30 kg, è completamente connesso e riduce il livello di sforzo fisico richiesto ai lavoratori durante lo svolgimento delle loro mansioni

Il Cray X è il primo esoscheletro di questo tipo a supportare due attività: il sollevamento e la deambulazione. Durante il sollevamento, l'esoscheletro spinge sulle cosce dell'utente fornendo un supporto fino a 30 kg, mentre durante la deambulazione, l'esoscheletro spinge delicatamente le gambe in avanti. In definitiva, aiuta a ridurre la stanchezza e a preservare i livelli di energia dei lavoratori.

In conclusione, sebbene siano più pesanti, complessi e costosi, gli esoscheletri attivi forniscono un supporto più completo al corpo del lavoratore e permettono di ridurre la stanchezza. Inoltre, hanno un maggior numero di applicazioni e i dispositivi di nuova generazione possono supportare diverse attività con lo stesso esoscheletro. Tuttavia, il peso delle batterie, i costi di gestione per la ricarica e il trade-off tra peso del dispositivo e peso sollevato, non permettono ancora la diffusione in massa di questi esoscheletri.

### **4.3 STUDI DI EFFICACIA E ACCETTAZIONE**

Per valutare l'efficacia di questi dispositivi, sono stati effettuati diversi studi: i primi sono stati condotti in laboratorio, in ambiente controllato e con poche variabili prese in considerazione. Dopo aver raccolto sufficienti dati e aver visto una prima efficacia degli esoscheletri, si è passato ai test in linea, fino a valutare l'efficacia degli esoscheletri passivi nel settore automotive e in particolare in linea di assemblaggio.

A seguire due valutazioni sull'applicabilità degli esoscheletri in ambienti industriali, la loro efficacia nel migliorare le condizioni degli operatori e la loro opinione riguardo l'utilizzo quotidiano.

La prima analisi si basa su studi in ambiente produttivo controllato, effettuato nel nord America nel 2009 <sup>26</sup> La seconda è stata invece svolta in Europa nel 2018 <sup>27</sup>, con un esoscheletro passivo a supporto della spalla, poi evoluto e descritto nell'ultima parte del paragrafo.

#### **4.3.1 Segnali EMG e accettabilità da parte dell'operatore nel settore automobilistico**

Come detto precedentemente, l'assemblaggio di veicoli è un lavoro estremamente usurante, caratterizzato da tempi ciclo molto veloci e posizioni non congrue alla salute del lavoratore, oltre a richiedere ancora un gran numero di operatori. Gli impatti sulla sanità pubblica, sugli enti di assicurazione del lavoro e sulla società in generale sono quindi molteplici, tra cui anche la grande richiesta di fondi per supportare gli esuberanti, gli incidenti e le malattie professionali.

In tal senso, con l'utilizzo di esoscheletri passivi a supporto della parte bassa della schiena si cerca di ridurre la compressione lombare, lo sfregamento tra le vertebre e l'eccessivo danneggiamento di tendini e tessuto muscolare. Nel 2009, uno dei primi studi è stato condotto tra gli stabilimenti degli Stati Uniti e del Canada per valutare l'effettiva riduzione della sollecitazione richiesta ai lavoratori che passano buona parte dell'attività lavorativa con il tronco piegato in avanti, leggermente in torsione e in posizione statica<sup>26</sup>.

Questa posizione, molto dannosa per la zona lombare, è molto diffusa negli ambienti di assemblaggio dei veicoli, in quanto il lavoratore deve entrare nell'abitacolo per operarvi per diversi secondi. Si stima infatti che oltre il 50% dei lavoratori mantenga una postura con il busto flesso in maniera lieve o grave per oltre il 70% del tempo ciclo dell'azione. Questo tipo di posture, inoltre, sono direttamente collegate all'insorgenza di compressione e forze di taglio sulla zona lombare della schiena e quindi a dolori cronici quali mal di schiena e lombalgia.

---

<sup>26</sup> Graham, R. B. et al. (2009) Effectiveness of an on-body lifting aid at reducing low back physical demands during an automotive assembly task: Assessment of EMG response and user acceptability, Applied Ergonomics.

<sup>27</sup> Stefania Spada et al. (2017) Investigation into the applicability of a passive upper-limb exoskeleton in automotive industry, Procedia Manufacturing.



I primi metodi per ridurre questi fenomeni sono stati l'introduzione di montacarichi; tuttavia, la riprogettazione della linea per introdurre tali sistemi si rivela costosa, tanto in termini di costo delle attrezzature, quanto per lo spazio che essi richiedono, oltre alla formazione necessaria per i lavoratori interessati. Per tale ragione, sono stati valutati i dispositivi indossabili per l'assistenza al sollevamento (PLAD), che risultano più economici, flessibili e di facile introduzione nella linea di produzione in quanto non necessitano una completa riprogettazione.

Lo studio in esame, con l'obiettivo di provare che i PLAD sono un valido supporto al lavoratore, hanno preso in esame un gruppo eterogeneo di operatori in linea di assemblaggio, hanno adattato l'esoscheletro in esame alla corporatura di ogni lavoratore e hanno valutato il contributo del dispositivo. L'attività svolta era composta da una fase di piegamento in avanti del busto per circa 30 secondi, con una lieve torsione, e una fase in posizione eretta per circa 25 secondi, per un tempo ciclo totale di 55 secondi circa su un'attività di 2 ore. È possibile considerare la fase in posizione eretta come recupero e quindi si valuta un rapporto load-to-rest di 1:1.

Il dispositivo, nella fase di preparazione, è stato preparato perché non avesse una tensione eccessiva: viene calibrato perché scarichi il 20% del momento applicato alle vertebre L4 e L5 della schiena. Inoltre, i test svolti su due giornate in cui gli operatori hanno lavorato con e senza PLAD hanno premesso di valutare che l'esoscheletro non ha modificato la geometria dell'attività, ovvero non ha modificato gli angoli di flessione o di torsione.

Per valutare il funzionamento del dispositivo, sono stati applicati sei elettrodi in diverse zone del tronco dell'operatore per analizzare le aree più sollecitate dall'attività e più impattate dal funzionamento dell'esoscheletro, come mostrato in Figura 4.3. Per controllare la simmetria dell'attività, gli elettrodi sono stati posizionati simmetricamente ai lati della colonna vertebrale e le zone controllate sono state due per la schiena, ovvero le zone toracica e lombare, e una per la fascia addominale.

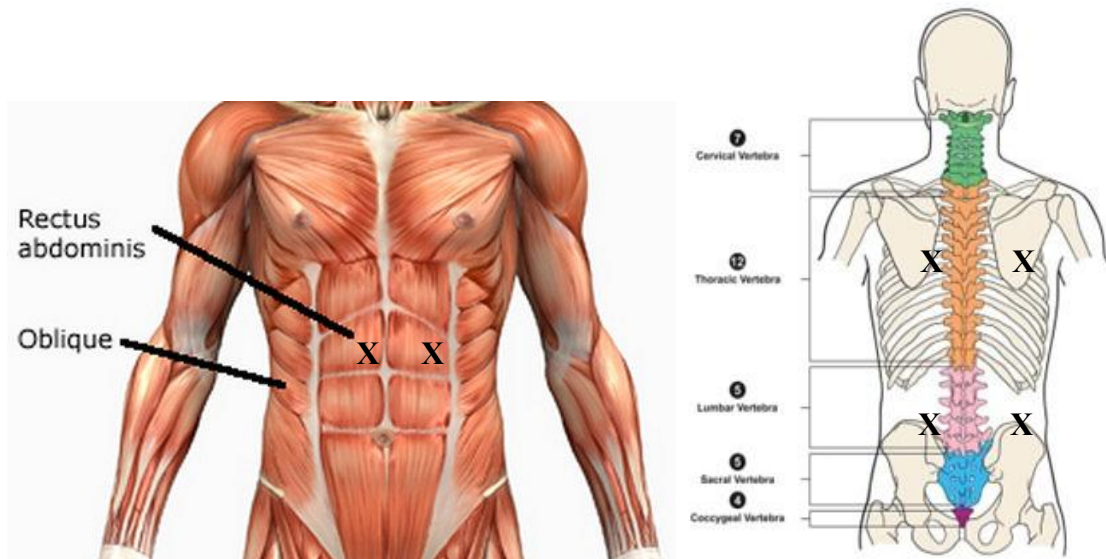


Figura 4.3 - Raffigurazione delle aree in esame<sup>28</sup>

Oltre ai test strumentali dei segnali EMG, sono anche stati sottoposti ai soggetti in esame alcune indagini soggettive riguardo la percezione della fatica prima del dispositivo e con il dispositivo indossato correttamente, ovvero se l'esoscheletro fosse d'intralcio all'attività e quanto fosse confortevole.

Una volta normalizzati e valutati tramite test ANOVA per valutare la varianza, i risultati hanno confermato l'effetto positivo che l'esoscheletro ha sulla compressione vertebrale senza aumentare significativamente l'attività addominale. Inoltre, la riduzione di fatica sulla schiena è stata coerente tra area toracica e lombare, con una riduzione di oltre il 27% nella sollecitazione a muscoli e nervi delle aree testate. Questo risultato dell'elettromiografia risulta quindi coerente con la calibrazione del dispositivo effettuata a monte dell'esperimento.

I risultati più sorprendenti, comunque, sono quelli delle indagini soggettive sottoposte ai dipendenti, i quali hanno percepito una riduzione media della fatica oltre il 50% (valutazioni effettuate in base alla scala di Borg RPE-20). Inoltre, l'accettabilità del dispositivo è stata valutata con un risultato di 4.2 punti su 5. Per i soggetti, inoltre, il dispositivo risulta benefico in termini di fatica, sicurezza e prevenzione, anche grazie alla vestibilità del prodotto. In tal senso, 8 partecipanti su 10 indosserebbe l'esoscheletro giornalmente se venissero applicate

<sup>28</sup> Rectus Abdominis Muscle (no date). Available at: <https://2.bp.blogspot.com/-XSz2tE-s6rc/WUqMlyBesnI/AAAAAAAAANE/8bhYN0mMhTYf2rNOS5hhvKndD3F1mIwvgCLcBGAs/s1600/rectus-abdominis-muscle.jpg>.

Vertebral column spine (no date). Available at: <https://cdn-acgla.nitrocdn.com/bvIhcJyiWKFqIMsfAAAXRLitDZjWdRILX/assets/static/optimized/rev-5131b73/wp-content/uploads/2020/05/vertebralcolumnspine.jpg>.

alcune modifiche al prodotto. Il supporto alla spalla e i materiali scelti potrebbero essere migliorati, anche per rendere il dispositivo adatto ad altre attività.

In conclusione, al netto di alcune necessarie modifiche per rendere il dispositivo più adatto al lavoro di tutti i giorni, l'esoscheletro ha ricevuto pareri positivi dagli operatori e risulta avere un effetto benefico nella riduzione della compressione spinale causata dalle posture incongrue delle linee di assemblaggio. Vista anche la consistenza tra i dati di laboratorio e quelli in linea produttiva, si può affermare che i sistemi indossabili di supporto permettono di scaricare la fatica e di far sentire il lavoratore più sicuro.

Anche la valutazione costi-benefici riguardo l'introduzione o meno del dispositivo nell'attrezzatura a disposizione dell'operatore ha un risultato positivo. Dal momento che i sistemi di movimentazione industriali sono più costosi e difficoltosi da integrare in una linea già esistente, i dispositivi indossabili risultano rivoluzionari visto che possono essere introdotti senza estese modifiche alla linea. Inoltre, l'avanzamento delle tecnologie di misurazione permette di adattare il dispositivo in base alla corporatura e alle capacità soggettive del lavoratore, così da rendere gli esoscheletri una soluzione praticabile per molti tipi di attività. Per esempio, potrebbe essere possibile valutare gli effetti degli esoscheletri e l'impatto sul benessere del lavoratore durante le procedure di sorveglianza sanitaria a carico del medico competente. Così facendo sarebbe possibile sia rispettare la normativa per le attività in fascia gialla, come descritto nella prima parte del capitolo 3, sia proteggere il lavoratore in modo specifico per le attività svolte quotidianamente.

#### **4.3.2 Applicabilità di esoscheletri passivi per arti superiori nel settore automobilistico**

Oltre ai dispositivi precedentemente citati e analizzati, esistono esoscheletri che mirano alla salute e sicurezza degli arti superiori, anch'essi molto sollecitati nelle attività industriali. Nel settore automobilistico, in particolare, non è sempre possibile sostituire l'essere mano a causa della necessità di destrezza, flessibilità e *problem solving* che richiedono buona parte delle attività di assemblaggio e movimentazione. In questo caso, per ridurre il sovraccarico biomeccanico si sono diffusi carroponti e gru che, per quanto siano efficaci per la prevenzione di disturbi muscolo-scheletri, sono giudicati scomodi da usare e troppo dispendiosi in termini di tempo.

La soluzione, di nuovo, risulta la collaborazione tra robot ed essere umano, che in questo caso si identifica con gli esoscheletri indossabili. A causa delle caratteristiche dei tipi di dispositivi presenti sul mercato al momento dell'analisi (2018)<sup>29</sup> per questo studio congiunto tra Politecnico di Torino e FCA Group<sup>30</sup> sono stati scelti solo esoscheletri passivi. Nello specifico, è stato scelto l'esoscheletro Airframe<sup>31</sup> mostrato in Figura 4.4.



*Figura 4.4 - Fotografia dell'esoscheletro in esame*

Questo dispositivo trasferisce il peso delle braccia dalle spalle, dal collo e dalla parte superiore della schiena alla parte esterna dei fianchi, distribuendo uniformemente il peso per ridurre lo stress. In particolare, i test si sono concentrati sulle attività statiche, dinamiche e di precisione che coinvolgono la spalla. L'esoscheletro in esame, infatti, si attiva progressivamente quando il braccio viene sollevato e si rilascia gradualmente quando il braccio viene abbassato, garantendo il giusto livello di supporto in funzione dell'altezza a cui lavora il braccio dell'operatore.

I test sono stati svolti su base volontaria: sono stati scelti 29 soggetti di genere maschile con un'altezza tra i 170 e i 180 cm, con un'età compresa tra i 45 e i 65 anni in qualsiasi

---

<sup>29</sup> Stefania Spada et al. (2017) Investigation into the applicability of a passive upper-limb exoskeleton in automotive industry, *Procedia Manufacturing*.

<sup>30</sup> Fiat Chrysler Automobiles N.V. (FCA), era un'azienda italo-statunitense produttrice di autoveicoli, ottavo gruppo automobilistico al mondo per numero di veicoli prodotti. Nel 2021 si è fusa con il Groupe PSA dando vita alla nuova società Stellantis.

<sup>31</sup> Engineering a healthier workplace (2023) Levitate. Available at: <https://www.levitatetech.com/airframe-flex/> (Accessed: 19 August 2023).

condizione medica. Successivamente, si è valutata la performance dell'operatore sia nel caso in cui l'esoscheletro non sia indossato, sia nel caso il dispositivo sia indossato. Le prove sono state divise a seconda del tipo di azione da svolgere:

### **1. Attività statica**

All'operatore è stato chiesto di sostenere un peso di circa 3.5 kg con il braccio a 90° rispetto al corpo. L'oggetto è stato posizionato sull'avambraccio per non valutare l'azione del polso. In questo test non è stato posto un tempo minimo o massimo di sollevamento, l'operatore poteva fermarsi quanto iniziava a sentire fatica o disagio.

È bene considerare che questo aspetto di soggettività del test può portare a dati falsati a causa di fenomeni sociali quali machismo, paura di essere licenziati o orgoglio personale. Cionondimeno, i risultati mostrano che in media l'operatore con indosso l'esoscheletro sostiene il peso per oltre il 30% in più del tempo rispetto a quando non lo indossa. Inoltre, grazie alle interviste successive al test emerge che per 26 operatori l'esoscheletro ha un'azione benefica.

### **2. Attività dinamica**

In questo test è stato richiesto all'operatore di spostare ripetutamente un oggetto di circa 3.5 kg tra due piani ad altezza diversa ( $\Delta h = 90$  cm). In questo test è stato definito un ritmo di 30 azioni/minuto per un massimo di 10 minuti, permettendo comunque al soggetto di fermarsi in caso di fatica o di riduzione del ritmo per tre volte.

I risultati di questo test risultano contraddittori, in quanto con l'esoscheletro i soggetti hanno peggiorato i loro risultati, adducendo come causa la posizione da mantenere data la presenza del dispositivo e di come questa postura fosse attiva, ovvero richiedesse uno sforzo aggiuntivo.

### **3. Attività di precisione**

Nella terza fase di test è stata valutata l'efficacia dell'esoscheletro per supportare il lavoratore durante attività di precisione. La valutazione è stata svolta ponendo il soggetto davanti ad un poster con una serie di sinusoidi disegnate, le quali dovevano essere riprodotte senza avvicinarsi al foglio. Il test era considerato concluso quando il soggetto terminava l'ultima serie di curve o in caso di fatica.

Il totale di curve da disegnare era di 135, e con l'esoscheletro 19 soggetti sono riusciti a completarle tutte, rispetto ai 6 soggetti in grado senza esoscheletro. Comunque, anche la media di archi completati aumenta se indossato l'esoscheletro (+33.6%), così come aumenta la precisione del disegno (+16.7%).

#### **4. Opinione dell'utente**

La quarta ed ultima attività fa riferimento al test cognitivo sottoposto ai soggetti per valutare l'usabilità e l'accettabilità del dispositivo.

È stata utilizzata anche la scala di Borg come misura quantitativa del livello percepito di attività sostenuta prima senza e poi esoscheletro. I valori determinanti sono stati la volontarietà, l'esperienza, la qualità del risultato del lavoro anche in termini di dimostrabilità. Successivamente, i soggetti sono stati inclusi in focus group per stimolare la discussione riguardo gli esoscheletri e per valutare i loro aspetti positivi o negativi.

In conclusione, nonostante i test siano svolti in laboratorio e quindi non rappresentino esattamente la realtà produttiva, i risultati sono positivi per quanto riguarda le azioni statiche e di precisione. Non solo la qualità della performance dei soggetti è migliorata (in media +30%), l'operatore ha anche percepito meno fatica. Sebbene le interviste indichino che i soggetti preferiscono l'applicazione degli esoscheletri solo su base volontaria, i risultati strumentali non possono essere negati.

Sicuramente, prima dell'implementazione di questi dispositivi su larga scala servono ulteriori test riguardo gli effetti sulle altre aree del corpo dell'operatore e soprattutto sarà necessario procedere con valutazioni riguardo il grado di accettazione da parte dell'utente finale. Inoltre, per effettuare una corretta valutazione dei rischi si deve prendere in considerazione l'applicazione di un metodo olistico, come ad esempio l'EAWS citato nel capitolo 3.3.

### 4.3.3 Esoscheletri di ultima generazione

Se già lo studio precedentemente analizzato è stato svolto in collaborazione con il gruppo automobilistico ex FCA nel 2018, ad oggi la tecnologia ha permesso un ulteriore passo avanti proprio per un marchio di Stellantis. Nello specifico, è il marchio Comau a sviluppare una nuova versione di esoscheletro passivo per il sostegno dei muscoli della zona lombare, perché secondo l'amministratore delegato Pietro Gorlier il settore della robotica indossabile crescerà del 25%.<sup>32</sup>

In collaborazione con Iuvo<sup>33</sup> ed Esselunga<sup>34</sup>, la Comau ha migliorato il già esistente Mate-Xt perché sostenga completamente l'articolazione lombosacrale degli operatori durante le attività di piegatura e sollevamento. I risultati sono importanti, non solo dal punto di vista della produzione e del lavoro: oltre ai benefici a lungo termine per la salute, questo tipo di esoscheletro nasce espressamente per le attività di immagazzinamento e logistica, ovvero di movimentazione manuale dei carichi.

Il Mate-Xt non presenta né motori né batterie e rientra quindi nella categoria degli esoscheletri passivi. Più nello specifico, immagazzina l'energia cinetica espressa dal lavoratore caricando una molla che restituisce l'immagazzinato quando necessario, sostenendo la persona quando piega la schiena e durante il sollevamento ripetuto. È costituito da materiali leggeri perché il peso sia minimo ed è rivestito da tessuti traspiranti.

Questo dispositivo stima una riduzione dello sforzo muscolare delle spalle di circa il 30%, con una percezione di riduzione generale della fatica del 25%. Inoltre, fornisce un supporto alla schiena che si traduce in una migliore postura e il 50% degli operatori dichiara di sentire meno dolori alla schiena da quando lo indossa. I risultati sulla qualità del lavoro, d'altra parte, sono una riduzione del tempo di esecuzione con un aumento della qualità di precisione e una riduzione di disturbi muscolo-scheletrici correlati.

Esiste inoltre anche la versione attiva del Mate-Xt, che presenta i vantaggi dell'ergonomia in tempo reale grazie alla combinazione di sensoristica e *internet of things*. Il dispositivo si

---

<sup>32</sup> Nicolao, L. (2023) Il Nuovo esoscheletro senza motore né Batteria Che migliora la produzione industriale e la salute dei lavoratori, Corriere della Sera. Available at: [https://www.corriere.it/tecnologia/23\\_giugno\\_28/il-nuovo-esoscheletro-senza-motore-ne-batteria-che-migliora-la-produzione-industriale-e-la-salute-dei-lavoratori-8e43df82-148a-4cf1-9039-d1465c6c6x1k.shtml](https://www.corriere.it/tecnologia/23_giugno_28/il-nuovo-esoscheletro-senza-motore-ne-batteria-che-migliora-la-produzione-industriale-e-la-salute-dei-lavoratori-8e43df82-148a-4cf1-9039-d1465c6c6x1k.shtml) (Accessed: 19 August 2023).

<sup>33</sup> Piattaforma estone di P2P Lending (prestito tra privati), che opera sotto forma di Marketplace.

<sup>34</sup> Società italiana operante nel settore della grande distribuzione nel nord e centro Italia con supermercati e superstore.

connette ad internet tramite una rete wi-fi e permette di ricevere le informazioni raccolte dai sensori così da analizzare i movimenti compiuti, eventuali posture scorrette e i tempi di esecuzione. Inoltre, questa versione connessa dell'esoscheletro Mate-Xt rientra perfettamente nella definizione di industria 4.0, aumentando la connessione tra macchine, migliorando la raccolta di dati e offrendo la possibilità di miglioramento continuo attraverso l'analisi delle informazioni ricevute.

#### 4.4 PERCHÉ GLI ESOSCHELETRI?

Analizzando i temi toccati nei capitoli precedenti, è evidente il *fil rouge* che collega i temi della salute e sicurezza sul lavoro, dei costi per le aziende e per la società in caso di incidenti e malattie professionali e l'innovazione richiesta dalle organizzazioni internazionali quali l'Organizzazione delle Nazioni Unite e l'Unione Europea.

In primo luogo, la crisi demografica, sociale ed economica che i paesi industrializzati stanno affrontando, pongono un nuovo accento sul concetto di prevenzione e tutela. Da un lato, a causa della recente pandemia si è visto un aumento dei costi per il Sistema Sanitario Nazionale, contrapposto però ad una riduzione sia per la produttività sia per il Prodotto Interno Lordo. Secondo Federfarma, nel 2021, la spesa sanitaria ha superato i 125 miliardi di euro, rispetto ai 110 miliardi dell'anno precedente<sup>35</sup> (+13%), mentre il Pil nel 2020 è calato del 9% e nel 2021 ha ripreso “solo” il 6,7%.<sup>36</sup>

D'altra parte, come illustrato nel capitolo 3.4 Malattie professionali e infortuni sul lavoro, il numero di eventi dannoso risulta in aumento, ovvero aumentano i premi per le aziende, i costi per l'Istituto nazionale per l'assicurazione contro gli infortuni sul lavoro e per la sanità pubblica.

---

<sup>35</sup> (2022) Spesa Sanitaria. Rapporto Ragioneria dello Stato. Available at: <https://www.federfarma.it/Edicola/Filodiretto/VediNotizia.aspx?id=24309> (Accessed: 19 August 2023).

<sup>36</sup> Conti Economici Nazionali - anno 2021 (2022) Istat. Available at: <https://www.istat.it/it/archivio/274957> (Accessed: 19 August 2023).



All'interno di questo contesto non bastano gli investimenti privati o nazionali, e infatti l'unione europea ha previsto il Next Generation EU, ovvero uno stanziamento di fondi da oltre 800 miliardi di euro, per contribuire a riparare i danni economici e sociali immediati causati dalla pandemia di coronavirus. Comunque, gli obiettivi spaziano dalla transizione ecologica a quella digitale, per rendere l'economia europea più resiliente e adeguata alle sfide presenti e future.

All'interno dei progetti patrocinati da questo piano europeo sono previste attività quali:

- Focalizzazione sulle tecnologie e capacità in campo ecologico: mobilità sostenibile, efficienza energetica e rinnovabili, adattamento ai cambiamenti climatici, economia circolare e biodiversità
- Politiche per la prossima generazione per migliorare l'accesso e la qualità dell'istruzione generale, professionale, superiore e digitale; oltre a sostenere l'occupazione giovanile
- Crescita intelligente, sostenibile e inclusiva, ovvero promuovere l'imprenditoria, la competitività e l'industrializzazione; migliorare il contesto imprenditoriale; promuovere la ricerca, lo sviluppo e l'innovazione; sostenere le piccole e medie imprese
- Trasformazione digitale tramite la realizzazione di reti ad altissima capacità, la digitalizzazione dei servizi pubblici e delle imprese, così da sviluppare competenze digitali essenziali e avanzate; sostenere la ricerca nel campo del digitale e la diffusione delle tecnologie avanzate
- Coesione sociale e territoriale, per migliorare le infrastrutture e i servizi sociali e territoriali, compresi i sistemi assistenziali e previdenziali; per sostenere l'occupazione e lo sviluppo delle competenze; per creare posti di lavoro stabili e di qualità.
- Salute e resilienza economica, sociale e istituzionale così da migliorare l'accessibilità e la qualità della sanità e dell'assistenza a lungo termine.

L'innovazione tecnologica e quindi l'industrializzazione sono al centro dei piani di sviluppo per i paesi europei, che puntano ad una produzione connessa e intelligente. In questo contesto, quindi, dispositivi come *co-bot* ed esoscheletri vengono ritenuti la chiave del successo per le aziende del futuro. In molti casi, infatti, possono essere acquistati tramite fondi nazionali o europei, rappresentando così una fonte di innovazione a basso costo per le aziende e ad alto impatto per la società nel suo complesso.

In secondo luogo, è importante ricordare che il mero interesse economico di alcuni attori all'interno dell'economia non può e non deve essere fonte di danno per la società in cui si trova. Anche a causa delle frequenti crisi economiche e di politiche finanziarie poco adatte, molte aziende hanno orientato la loro produzione e i loro servizi verso la massimizzazione degli utili e alla riduzione di tutto ciò che fosse considerato uno spreco, come le attività per il territorio, per i propri dipendenti o per le fondazioni a sostegno delle attività locali.

A cavallo tra il 1800 e il 1900, molte le realtà produttive investivano tanto nello stabilimento quanto nella società attorno ad esso. Torino è un caso emblematico, con interi quartieri costruiti per gli stabilimenti tipo il Cotonificio Leumann<sup>37</sup>, dove gli stessi impresari creavano le opportunità di lavoro e gli spazi per il dopo-lavoro, con le colonie estive per i figli di dipendenti e i circoli sportivi. Successivamente arriva il colosso Ferrero a iniziare il concetto di welfare aziendali, con il motto “lavorare, creare, donare”, con il Villaggio Ferrero per i dipendenti, le navette gratuite dai paesi per raggiungere la fabbrica, la cappella perché i lavoratori con i turni di domenica potessero pregare e i giorni liberi per andare a vendemmiare<sup>38</sup>.

Tuttavia, nel tempo si è persa l'idea di legame tra prosperità dell'azienda e benessere del territorio. Ad oggi, in molti casi è necessario che ci sia un incentivo economico, un credito d'imposta o uno sgravio nella tassazione perché si investa nelle nuove tecnologie e nei giovani. Insomma, si riduce l'emissione di CO<sub>2</sub> perché, in caso contrario, aumentano le tasse, non perché si veda l'investimento a lungo termine del ridurre le emissioni e tutelare il pianeta. Può capitare, quindi, che si evitino i lavori di manutenzione dello stabilimento perché è prevista la sua chiusura alla fine dell'anno<sup>39</sup>.

---

<sup>37</sup> Villaggio operaio (2023) Wikipedia. Available at: [https://it.wikipedia.org/wiki/Villaggio\\_operaio](https://it.wikipedia.org/wiki/Villaggio_operaio) (Accessed: 19 August 2023).

<sup>38</sup> Bolelli, L. (2023) Ferrero story Fu Pioniere del Welfare aziendale, *Quotidiano Nazionale*. Available at: <https://www.quotidiano.net/magazine/ferrero-story-fu-pioniere-del-welfare-aziendale-731af575> (Accessed: 19 August 2023).

<sup>39</sup> TG24, R.S. (2022) Rogo ThyssenKrupp, 15 anni fa la strage: Dall'Incidente Al Processo, 15 anni dalla strage alla Thyssen di Torino, dall'incidente al processo: cosa è successo. FOTO | Sky TG24. Available at: <https://tg24.sky.it/cronaca/2022/12/06/strage-thyssen-krupp-torino#05> (Accessed: 19 August 2023).

Per dare una svolta a queste circostanze poco propizie per uno sviluppo sostenibile e dignitoso, entra quindi in campo l'Unione Europea, che spinge gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile dell'ONU e richiede che d'ora in avanti di faccia meglio. È infatti incettabile che, nonostante tutta l'evoluzione in termini tecnologici e organizzativi, il numero di infortuni sia in crescita. Inoltre, proprio perché le malattie professionali impiegano molti anni prima di manifestarsi, è bene migliorare i sistemi di prevenzione così da ritardare o evitare certi tipi di disturbi, dato che alcuni possono essere molto debilitanti.

#### **4.4.1 Introduzione degli esoscheletri su larga scala**

Come introdotto in precedenza, gli esoscheletri di ultima generazione, che siano essi attivi o passivi, agisce sulla performance dell'operatore tanto per migliorarla, quanto per proteggere il dipendente da eventuali infortuni o malattie professionali.

In particolare, un esoscheletro passivo come il Mate-Xt citato precedentemente, che riduce lo sforzo muscolare delle spalle del 30% e permette di migliorare la postura durante l'attività, potrebbe avere come risultato una riduzione dei disturbi muscolo-scheletrici delle aree supportate. Se infatti mancano dei dati storici che attestano i reali effetti a lungo termine dell'utilizzo di esoscheletri industriali, i test in laboratorio e in ambiente simil-produttivo fanno ben sperare riguardo le loro prestazioni.

Tuttavia, a livello normativo non sono ancora stati considerati questi dispositivi, tantomeno come attori principali nel luogo di lavoro. Da una parte, è necessario considerarli all'interno della valutazione dei rischi in quanto riducono il carico biomeccanico e potrebbero indurre ad un aumento delle costanti di peso. D'altra parte, è bene ricordare che, soprattutto nel caso di esoscheletri passivi, la formazione è fondamentale perché il loro utilizzo abbia effetti positivi, ovvero per evitare infortuni e malattie professionali scaturite proprio dal lavorare indossando un esoscheletro.

Perché gli esoscheletri siano introdotti su larga scala, è infatti necessario attendere che gli organi amministrativi locali e internazionali stabiliscano in quale normativa introdurre le condizioni per il corretto utilizzo di questo tipo di dispositivi. Al momento, viste le direttive e i regolamenti europei esistenti, le possibili definizioni normative per gli esoscheletri sono:

- Strumenti di ausilio di lavoro
- Dispositivi medici (correlati alla prevenzione di secondo e terzo livello)
- Dispositivi di protezione individuale

Inoltre, non basterà inclusione di questi dispositivi all'interno dei riferimenti normativi: gli operatori sono ancora lontani dall'accettazione dell'utilizzo di esoscheletri in maniera costante e giornaliera, soprattutto per quelle attività che richiedono molta variabilità nei movimenti.

Perché un lavoratore accetti di indossare un esoscheletro su base giornaliera, la ricerca dovrà fare un ulteriore passo avanti. Per alcuni tipi di esoscheletri sono già stati fatti dei test sulla vestibilità e sul comfort; tuttavia, essi sono stati condotti su studenti o comunque in laboratorio, dove non si può replicare fedelmente l'ambiente di lavoro, l'attività lavorativa e i tempi di lavoro. Inoltre, è anche necessario valutare l'usabilità reale e se sono presenti eventuali limitazioni nei movimenti, perché in tal caso è possibile che il lavoratore non possa compiere correttamente la sua attività lavorativa o assuma posture incongrue pur di realizzarla.

D'altra parte, si deve anche considerare l'aspetto psicologico dietro l'accettazione di questi dispositivi: il lavoratore deve sentirsi soddisfatto del suo lavoro e non deve percepire un maggior livello di rischio con indosso l'esoscheletro. Non è infatti prevedibile l'effetto dell'introduzione di questi dispositivi su larga scala, anche viste le differenti predisposizioni alla novità e al cambiamento del singolo lavoratore e della società che lo circonda.

L'introduzione di esoscheletri, pertanto, dovrà avvenire gradualmente e su base volontaria, valutando i tempi e i metodi di inserimento attentamente, così da non creare effetti ritorsivi contro questi tipi di dispositivi. Nel caso di aziende multinazionali con stabilimenti in diversi paesi, sarà anche bene considerare gli aspetti culturali<sup>40</sup> legati all'accettazione del rischio, alla flessibilità e all'adattabilità specifici della popolazione lavorativa in esame.

---

<sup>40</sup> Country comparison tool (no date) Hofstede Insights. Available at: <https://www.hofstede-insights.com/country-comparison-tool> (Accessed: 19 August 2023).

Dal punto di vista economico, invece, gli investimenti in esoscheletri promettono buoni risultati. Da un lato, infatti, gli esoscheletri passivi sono molto economici: il Mate-Xt analizzato in precedenza costa meno di 5.000 euro il pezzo e permette di evitare una parte di fatica, non richiede eccessiva preparazione e ha un design ergonomicamente valido. Il modello attivo con sensoristica, il Mate-Xt 4.0, rientra nei piani di sviluppo industriale 4.0 e si può acquistare con un credito d'imposta fino al 40%.

D'altra parte, se il test di laboratorio riflettono la realtà produttiva, si può prevedere una diminuzione di infortuni e malattie professionali per gli operatori interessati, ovvero una possibile riduzione del premio assicurativo e una riduzione di giornate di lavoro perse.



## 5 CONCLUSIONI

---

In questo ultimo capitolo del documento si intende riassumere i temi toccati, analizzando punti di forza e debolezza delle analisi effettuate e infine valutare i risultati ottenuti. In particolare, si vuole considerare il ruolo centrale dell'operatore nella produzione industriale e migliorare le condizioni di lavoro in termini di tutela del benessere e della sicurezza.

In primo luogo, è importante valutare il contesto in cui la tesi è stata sviluppata, ovvero del periodo storico, sociale, demografico, economico e tecnologico di cui è figlia. Da un lato, l'umanità si trova al punto più alto dello sviluppo tecnologico e l'avanzamento delle nuove competenze digitali e informatiche sta cambiando radicalmente il modo di pensare e vedere il mondo. D'altra parte, le disuguaglianze non cessano di esistere, la popolazione sta invecchiando e l'economia consumistica rallenta, anche a causa della pandemia, portando ad un abbassamento della velocità di crescita che genera paura e ambiguità nel mondo finanziario. A causa di queste instabilità economiche, le aziende produttrici si trovano in stallo, timorose di investire e ansiose di valutare i profitti: si è perso il senso di comunità e di investimento a medio e lungo termine. Inoltre, con i dipendenti sempre più anziani, si teme per la produttività, crescono le discriminazioni e i licenziamenti, che inaspriscono le tensioni sociali ed economiche.

Per arginare le mire individualistiche, siano esse aziendali o nazionali, le organizzazioni internazionali come l'Unione Europea stanziando fondi per investimenti a favore della transizione ecologica e digitale, per una crescita sostenibile fondata sul lavoro dignitoso. In tal senso, molte aziende innovative e start-up hanno trovato terreno fertile con tassi agevolati e credito d'imposta per investire nei campi della ricerca e sviluppo per l'industria 4.0, in cui sono fatti passi avanti ogni giorno. Uno di questi passi avanti è l'esoscheletro industriale indossabile, che supera i limiti di robot e co-bot, migliorando la produttività e tutelando il lavoratore da malattie professionali e infortuni. Nonostante l'evoluzione tecnologica, infatti, i dati dimostrano che gli eventi dannosi in cui le vittime sono i dipendenti sono in crescita. In particolare, le attività dannose sono quelle della movimentazione manuale dei carichi e attività ripetitive degli arti superiori, così come le azioni di spinta e traino. In particolare, le malattie professionali sono in crescita, sintomo della quantità di attività logoranti ancora presenti nel mercato del lavoro.

In secondo luogo, è stato introdotto il tema dell'industria 4.0, analizzando la storia della produzione industriale ed evidenziando che, se si perde di vista la centralità del ruolo dell'essere umano, si perde la connessione con la società e con il benessere del sistema economico in cui l'azienda opera. In tal senso, è stato valutato il ruolo dell'esoscheletro industriale che protegge l'esperienza dell'operatore umano abbassando il carico biomeccanico. Si deve infatti tenere in considerazione che ad oggi la completa automazione non è una via percorribile tanto per via dei costi elevati, quanto per la bassa flessibilità di produzione. Inoltre, in caso di totale eliminazione della produzione tradizionale il costo degli esuberanti sarebbe troppo alto perché gli Stati possano sostenere economicamente la società.

Per questo sono stati introdotti gli esoscheletri, che grazie al loro funzionamento e ai vantaggi che offrono, possono essere identificati come tecnologia ponte verso una produzione sempre più automatica. Tra i tipi di esoscheletro attualmente in sviluppo esistono sia strutture puramente meccaniche, più semplici per struttura ed utilizzo, sia dispositivi interconnessi che offrono un supporto attivo migliorando la performance del lavoratore e analizzano in tempo reale i dati raccolti dalla linea di produzione.

Successivamente sono stati analizzati due studi riguardo l'applicazione degli esoscheletri in ambiente industriale, che dimostrano una riduzione in termini di sovraccarico biomeccanico e di fatica percepita. Per quanto positivi i risultati degli studi, tuttavia, non sappiamo gli effetti a lungo termine derivati dall'utilizzo quotidiano degli esoscheletri durante le attività lavorative. I dati attualmente disponibili mancano del fattore storico, ovvero non è possibile prevedere gli effetti causati dall'utilizzo di esoscheletri in modo consistente.

Per riassumere i punti di forza e debolezza, in Figura 5.1 è presente un'analisi SWOT. In questa valutazione sono anche considerate le opportunità e le minacce all'introduzione degli esoscheletri in ambiente industriale.



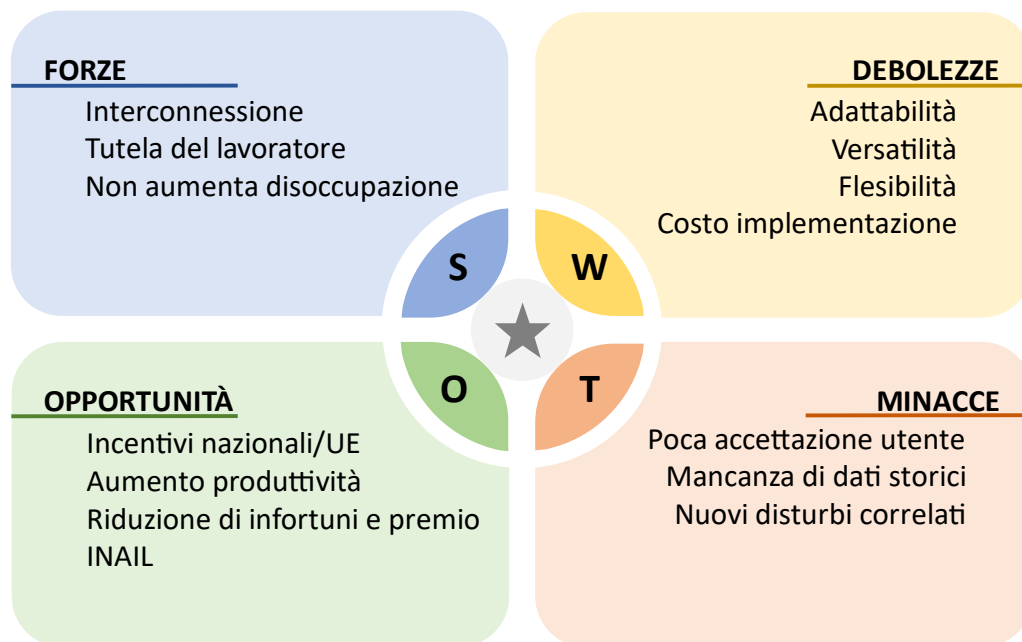


Figura 5.1 - Analisi SWOT relativa l'introduzione massiva di esoscheletri

Quello che si evince dall'analisi SWOT è che l'introduzione degli esoscheletri presenta sia dei lati positivi, sia dei lati negativi. È quindi necessario che le aziende valutino Stato per Stato, stabilimento per stabilimento e attività per attività se l'implementazione di questi dispositivi abbia realmente un esito positivo. Come detto, è possibile che in Stati prони al rischio e aperti alle novità, l'introduzione sia vista di buon occhio da parte degli operatori e quindi abbia effetti positivi. In caso contrario, se per i dipendenti risulta come un rischio eccessivo e poco utile, è probabile che l'implementazione abbia esiti negativi.

Non è infatti trascurabile la mancanza di dati storici: per quelle popolazioni lavorative poco prone al rischio, risulterà un azzardo utilizzare giornalmente gli esoscheletri, a maggior ragione perché non si ha riscontro degli effetti a medio e lungo termine. In tal senso, fino a che non si saranno implementati su larga scala, sarà impossibile avere dei dati realistici su pregi a breve termine ed effetti a lungo termine. Come spesso accade con le proposte innovative, si rischia appunto di entrare in un ciclo senza fine dove senza dati non si implementa la nuova soluzione e senza implementarla non si hanno abbastanza dati.

Tuttavia, vista anche la situazione precaria dell'economia e della società, è necessario innovare i metodi di produzione perché essa possa sia soddisfare la domanda, sia tutelare il sistema economico in cui opera. Tramite l'utilizzo degli esoscheletri sarebbe possibile ridurre il numero di esuberi legato all'estrema automatizzazione e, d'altra parte, mantenere alti i livelli di produttività e di qualità. Anche non fosse una soluzione a lungo termine, l'implementazione degli esoscheletri potrebbe essere un ponte tra la produzione tradizionale e quella 4.0, dando il tempo alle amministrazioni di formare gli operatori del futuro e permettendo a chi è già specializzato di andare in pensione.

## 6 RIFERIMENTI

---

- Agenda 2030* (2023) *ONU Italia*. Available at: <https://unric.org/it/agenda-2030/> (Accessed: 19 August 2023).
- Ugolini, C. (2021) *I Supermercati Olandesi aprono le casse 'per chiacchierare' riservate agli Anziani Soli*, *Mashable Italia*. Available at: <https://it.mashable.com/6437/casse-supermercato-per-anziani-contro-la-solitudine> (Accessed: 19 August 2023).
- Ageing europe - 2019 edition* (2019) *Ageing Europe - 2019 edition - Products Statistical Books - Eurostat*. Available at: <https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-statistical-books/-/KS-02-19-681> (Accessed: 19 August 2023).
- Landsbergis, P.A., Cahill, J. and Schnall, P., 1999. *The impact of lean production and related new systems of work organization on worker health*. *Journal of occupational health psychology*, 4(2), p.108.
- Attridge, D. (2017) *Effects of work-related stress, Human Resources*. Available at: <https://www.hr.admin.cam.ac.uk/policies-procedures/managing-stress-and-promoting-wellbeing-work-policy/policy-statement/effects> (Accessed: 19 August 2023).
- Ajayi, S. (2018). *Effect of Stress on Employee Performance and Job Satisfaction: A Case Study of Nigerian Banking Industry*. Social Science Research Network. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3160620>
- People work more years before retirement* (2019) *People work more years before retirement - Products Eurostat News - Eurostat*. Available at: <https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-eurostat-news/-/wdn-20191111-1> (Accessed: 19 August 2023).
- Stampa, U. (2022) *Ergonomia: Conosciamo Le Novità della nuova uni ISO 11228-1:2022, Quali sono le novità della norma UNI ISO 11228-1:2022? -...* Available at: <https://www.puntosicuro.it/pubbliredazionale-C-119/ergonomia-conosciamo-le-novita-della-nuova-uni-iso-11228-1-2022-AR-22245/> (Accessed: 19 August 2023).
- L'industria Automotive Mondiale Nel 2019 e trend 2020*. (2020) Available at: [https://www.anfia.it/data/portale-anfia/comunicazione\\_eventi/comunicati\\_stampa/2020/Industria\\_automotive\\_mondiale\\_nel\\_2019\\_e\\_trend\\_2020.pdf?trk=public\\_post\\_comment-text](https://www.anfia.it/data/portale-anfia/comunicazione_eventi/comunicati_stampa/2020/Industria_automotive_mondiale_nel_2019_e_trend_2020.pdf?trk=public_post_comment-text) (Accessed: 19 August 2023).
- Murgida, R. (2019) *Automotive - La Filiera Vale il 5,6% del Pil e Impiega 250 Mila Addetti*, *Quattroruote.it*. Available at: [https://www.quattroruote.it/news/industria-finanza/2019/02/28/automotive\\_la\\_filiera\\_dei\\_fornitori\\_vale\\_il\\_5\\_6\\_del\\_pil\\_e\\_impiega\\_250\\_mila\\_addetti.html](https://www.quattroruote.it/news/industria-finanza/2019/02/28/automotive_la_filiera_dei_fornitori_vale_il_5_6_del_pil_e_impiega_250_mila_addetti.html) (Accessed: 19 August 2023).
- Fontana, D. and Tuccino, F. (2015) *Effetti Sulla salute nella lean production : Il settore auto in Europa, Studi organizzativi : XVII, 1, 2015*. Available at: <https://www.torrossa.com/en/resources/an/3079317> (Accessed: 19 August 2023).

- Deloitte, MHI. (2020). *Accelerating Change: How Innovation is Driving Digital, Always-On Supply Chains*. Available at: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/energy-resources/us-energy-accelerating-change-how-innovation-is-driving-digital-always-on-supply-chains.pdf>
- MHI. (2020). *Emerging Technologies for Supply Chain Success*. Available at: [https://www.mhi.org/downloads/research/2020\\_mhi\\_annual\\_industry\\_report.pdf](https://www.mhi.org/downloads/research/2020_mhi_annual_industry_report.pdf)
- (2017) *Conoscere il Rischio*. Available at: [https://www.inail.it/cs/internet/docs/ocra\\_pdf.pdf?section=attivita](https://www.inail.it/cs/internet/docs/ocra_pdf.pdf?section=attivita) (Accessed: 19 August 2023).
- User, S. (2020) *Movimentazione manuale dei carichi e valutazione dei rischi, Consulenza e Formazione nella sicurezza sul lavoro*. Available at: <https://studioesepi.it/magazine/sicurezza-sul-lavoro/movimentazione-manuale-dei-carichi-e-valutazione-rischi> (Accessed: 19 August 2023).
- Lex - 32022R0720 - en - EUR-Lex (2019) EUR. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32022R0720> (Accessed: 19 August 2023).
- Stefania Spada a et al. (2017) *Investigation into the applicability of a passive upper-limb exoskeleton in automotive industry, Procedia Manufacturing*. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978917304602> (Accessed: 19 August 2023).
- Please enable cookies (no date) StackPath. Available at: <https://guna.com/it/lifestyle/senior-in-salute/problemi-osteoarticolari-e-muscolo-tendinei/> (Accessed: 19 August 2023).
- EpiCentro (2014) *Malattie Muscolo Scheletriche, Malattie muscolo-scheletriche*. Available at: <https://www.epicentro.iss.it/muscolo-scheletriche/> (Accessed: 19 August 2023).
- Cray X (2023) *Exoskeleton Report*. Available at: <https://exoskeletonreport.com/product/cray-x/> (Accessed: 19 August 2023).
- Graham, R. B. et al. (2009) *Effectiveness of an on-body lifting aid at reducing low back physical demands during an automotive assembly task: Assessment of EMG response and user acceptability, Applied Ergonomics*. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003687009000118> (Accessed: 19 August 2023).
- Robot collaborativi ed esoscheletri, una sfida tra opportunità e rischi per la salute e sicurezza sul lavoro (2021) INAIL. Available at: <https://www.inail.it/cs/internet/comunicazione/news-ed-eventi/news/news-workshop-lazio-campagna-eu-osha-2021.html> (Accessed: 19 August 2023).
- Ormazabal, G. (2023) *Lo que Los Números Pueden hacer por la sostenibilidad, El País*. Available at: <https://elpais.com/economia/negocios/2023-08-11/lo-que-los-numeros-pueden-hacer-por-la-sostenibilidad.html> (Accessed: 19 August 2023).

*Nuove Tabelle Delle MP in Industria e Agricoltura - Inail* (2019) *INAIL*. Available at: [https://www.inail.it/cs/internet/docs/nuove\\_tabelle\\_delle\\_mal\\_prof\\_industria\\_e\\_agr\\_pdf\\_2443085402196.pdf?section=attivita](https://www.inail.it/cs/internet/docs/nuove_tabelle_delle_mal_prof_industria_e_agr_pdf_2443085402196.pdf?section=attivita) (Accessed: 19 August 2023).

Hoffmann, T. (2023) *Job enrichment and job enlargement – a comparison, insights. magazine*. Available at: <https://insights.tt-s.com/en/job-enrichment-and-job-enlargement-a-comparison#:~:text=Job%20rotation%20is%20when%20workers,harmony%20with%20their%20organization's%20strategy>. (Accessed: 19 August 2023).

Cavatorta, M.P. (2022a) ‘Movimentazione Manuale dei Carichi’.

Cavatorta, M.P. (2022b) ‘Movimenti ripetitivi’.

Cavatorta, M.P. (2021) ‘Esoscheletri Industriali’.

## 7 APPENDICI

---

### 7.1 APPENDICE 1 – MALATTIE TABELLATE, VERSIONE 2019

Sindrome di Raynaud secondaria

Osteoartropatie

Neuropatie del nervo mediano e ulnare

Ernia discale lombare

Alcune forme di tendiniti (sovraspinoso, capolungo bicipite, morbo di duplay)

Borsite,

Epicondilite

Epitrocleeite

Borsite olecranica

Tendiniti e peritendiniti flessori/estensori

Sindrome di de Quervain

Sindrome del tunnel carpale

Malattie da sovraccarico biomeccanico del ginocchio (borsite, tendinopatia del quadricipite femorale, meniscopatia degenerativa)