



**UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE**  
**FACOLTA' DI INGEGNERIA**

---

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN**  
**INGEGNERIA GESTIONALE**

**VALUTAZIONE DELL'ERGONOMIA FISICA E COGNITIVA**  
**NELL'AZIENDA ARS TECH**

*EVALUATION OF PHYSICAL AND COGNITIVE ERGONOMICS*  
*IN THE ARS TECH COMPANY*

Relatore: Chiar.ma

Prof. *Alessandra Papetti*

Tesi di Laurea di:

*Vincenzo Martelli*

Correlatore: Chiar.ma

Prof. *Marianna Ciccarelli*

**A.A. 2023/2024**



## **SOMMARIO**

|  |    |
|--|----|
| <b>INTRODUZIONE</b> .....  | 6  |
| <b>1. HUMAN-CENTERED MANUFACTURING</b> .....                                     | 7  |
| <b>1.1 EVOLUZIONE INDUSTRIALE: DALL’INDUSTRIA 1.0 A QUELLA 5.0</b> .....         | 7  |
| <b>1.1.1 INDUSTRIA 5.0</b> .....   | 8  |
| <b>1.1.1.1 INDAGINE ISTAT SULL’UTILIZZO DELLE TECNOLOGIE 5.0 IN ITALIA</b> 10    |    |
| <b>1.1.2 EVOLUZIONE DEL LAVORATORE</b> .....                                     | 12 |
| <b>1.1.2.1 EVOLUZIONE DEI BISOGNI DELL’OPERATORE</b> .....                       | 13 |
| <b>1.1.2.1.1 EVOLUZIONE DELLA COLLABORAZIONE UOMO-MACCHINA</b> ..                | 14 |
| <b>1.2 SOSTENIBILITA’ SOCIALE</b> .....  | 15 |
| <b>1.2.1 OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH</b> .....                                | 18 |
| <b>1.2.1.1 SALUTE E SICUREZZA SUL LAVORO: ANALISI ISTAT</b> .....                | 20 |
| <b>1.3 RISCHI DA LAVORO CORRELATO</b> .....                                      | 24 |
| <b>1.3.1 DISTURBI MUSCOLO-SCHELETRICI</b> .....                                  | 25 |
| <b>1.3.2 STRESS MENTALE</b> .....  | 28 |
| <b>1.4 ERGONOMIA</b> .....   | 30 |
| <b>1.4.1 ERGONOMIA FISICA</b> .....  | 31 |
| <b>1.4.1.1 METODI PER LA VALUTAZIONE DELL’ERGONOMIA FISICA</b> .....             | 33 |
| <b>1.4.2 ERGONOMIA COGNITIVA</b> .....   | 42 |
| <b>1.4.2.1 METODI PER LA VALUTAZIONE DELL’ERGONOMIA COGNITIVA</b> ...            | 43 |
| <b>2. L’ERGONOMIA IN ARSTECH</b> .....   | 49 |
| <b>2.1 L’AZIENDA</b> .....   | 49 |
| <b>2.1.1 HYPERSYSTEM: UN SISTEMA DI PRODUZIONE “ALL IN ONE”</b> .....            | 51 |
| <b>2.1.2 THE ULTRA LIGHT UNIBODY CHASSIS</b> .....                               | 52 |
| <b>2.1.3 RESEARCH AND DEVELOPMENT: IL CUORE DI ARSTECH</b> .....                 | 53 |
| <b>2.2 VALUTAZIONE DELL’ERGONOMIA COGNITIVA NEL REPARTO DI LAMINAZIONE</b> ..... | 54 |
| <b>2.2.1 PROTOCOLLO DI VALUTAZIONE DELLO STRESS</b> .....                        | 56 |
| <b>2.2.2 DESCRIZIONE DELLA SENSORISTICA UTILIZZATA</b> .....                     | 57 |
| <b>2.2.3 DESCRIZIONE DEL MONITORAGGIO</b> .....                                  | 60 |

|              |   |            |
|--------------|---|------------|
| <b>2.3</b>   | <b>VALUTAZIONE DELL'ERGONOMIA FISICA NEL REPARTO AUTOCLAVE...</b>             | <b>69</b>  |
| <b>2.3.1</b> | <b>DESCRIZIONE DEL MONITORAGGIO E DELLA SENSORISTICA<br/>UTILIZZATA .....</b> | <b>70</b>  |
| <b>3.</b>    | <b>RISULTATI ERGONOMIA COGNITIVA IN LAMINAZIONE .....</b>                     | <b>73</b>  |
| <b>4.</b>    | <b>RISULTATI ERGONOMIA FISICA IN AUTOCLAVE .....</b>                          | <b>95</b>  |
|              | <b>CONCLUSIONI.....</b>   | <b>114</b> |
|              | <b>SITOGRAFIA .....</b>   | <b>116</b> |
|              | <b>INDICE DELLE FIGURE .....</b>  | <b>118</b> |



## INTRODUZIONE

Il crescente interesse verso il benessere dei lavoratori nei contesti produttivi è parte di una trasformazione più ampia che il mondo industriale sta vivendo con l'avvento dell'Industria 5.0. Questo nuovo paradigma non si limita a un'evoluzione tecnologica, ma introduce una nuova visione chiamata Human-Centered Manufacturing, in cui l'essere umano viene posto al centro del processo produttivo. In questo modello, produttività, efficienza, salute e sicurezza non sono più obiettivi distinti, ma componenti sinergiche di un unico sistema integrato. L'essere umano diventa quindi il perno di un sistema produttivo dove innovazione e produttività possono coesistere armoniosamente con il rispetto delle esigenze fisiche, mentali ed emotive dei lavoratori. In questo contesto, l'ergonomia gioca un ruolo cruciale, rappresentando non solo una disciplina, ma un approccio sistemico capace di trasformare i principi dello Human-Centered Manufacturing in strumenti pratici e concreti. Infatti, studiando l'interazione tra l'essere umano e gli elementi del sistema in cui opera, l'ergonomia ha l'obiettivo di adattare le condizioni di lavoro alle caratteristiche psicofisiche delle persone, riducendo l'insorgenza di stress, infortuni e affaticamento, migliorando al contempo la produttività e il benessere complessivo dei lavoratori.

La presente tesi, realizzata in collaborazione con il gruppo di ricerca dell'Università Politecnica Delle Marche, si focalizza su due campi dell'ergonomia: l'ergonomia fisica, che si occupa della valutazione delle posture e del sovraccarico biomeccanico, e l'ergonomia cognitiva, orientata invece allo studio dei processi cognitivi e mentali. La realtà industriale oggetto dello studio è stata l'azienda manifatturiera ARSTECH di Controguerra, specializzata nella produzione di componenti in fibra di carbonio per il settore automobilistico ad alte prestazioni. Nell'ambito dell'ergonomia cognitiva, lo studio ha affrontato un tema attuale e complesso: comprendere se esista una reale corrispondenza tra l'attività lavorativa e la variazione dei parametri vitali, al fine di ottenere informazioni sul livello di stress e, in futuro, migliorare il benessere delle persone e l'efficienza del lavoro. Nella presente tesi verrà trattata soltanto la prima parte del progetto di ricerca, dedicata alla raccolta dei dati e alla somministrazione dei questionari, con relative considerazioni finali che costituiranno l'input per i futuri sviluppi. Nell'ambito dell'ergonomia fisica, invece, è stata condotta un'analisi di valutazione delle posture all'interno di un reparto specifico, con l'obiettivo di determinare l'indice di rischio dell'attività e ottimizzarla attraverso il suggerimento di pratiche e strumenti migliorativi. Lo studio di ergonomia fisica e cognitiva, applicato in un contesto industriale innovativo come quello di ARSTECH, permetterà di creare un ambiente

produttivo più sicuro, efficiente e sostenibile, unendo l'avanguardia tecnologica a un'attenzione autentica verso il benessere umano.

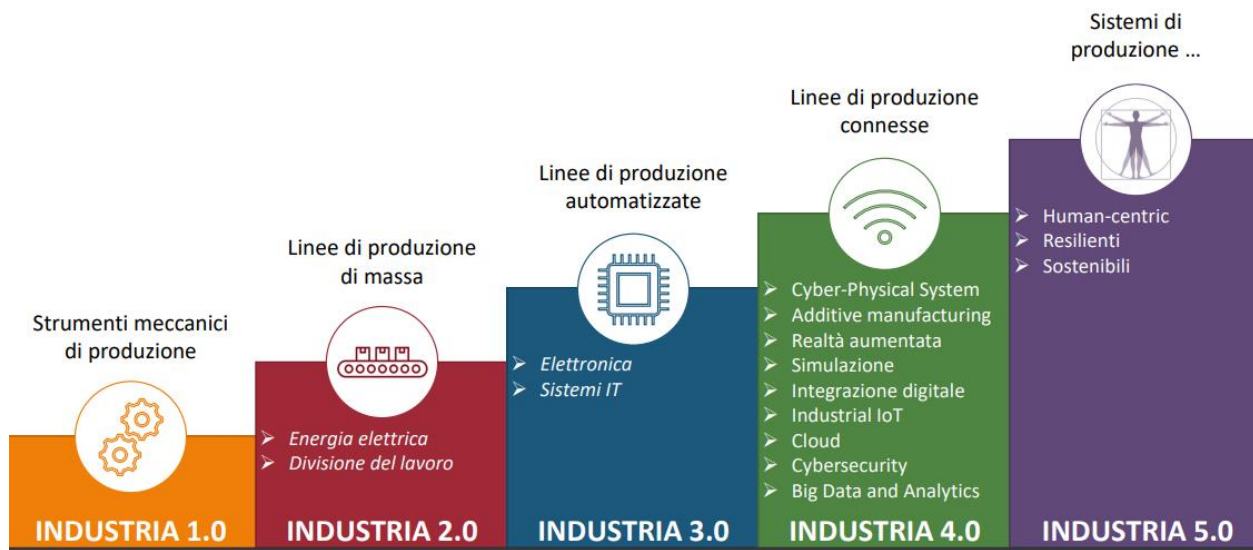
## **1. HUMAN-CENTERED MANUFACTURING**

Lo Human-Centered Manufacturing è un sistema di produzione basato sulla creazione di ambienti produttivi che danno priorità al benessere fisico, mentale ed emotivo dei lavoratori. Si basa sull'idea che le persone debbano essere al centro del processo produttivo e che la loro sicurezza, il loro comfort e la loro soddisfazione debbano essere presi in considerazione nella progettazione e nell'implementazione dei sistemi di produzione. Si cerca di favorire la produttività, l'efficienza e l'innovazione all'interno di un ambiente di lavoro sicuro e confortevole per i dipendenti. Inoltre, non deve essere l'uomo a adattarsi alle macchine e agli strumenti di lavoro, ma è la realtà in cui opera che deve essere pensata, studiata e realizzata su misura per la persona. Promuove l'importanza della comunicazione, della collaborazione e della cooperazione e incoraggia l'uso della tecnologia per migliorare l'efficienza e l'efficacia del processo produttivo. L'obiettivo è quello di raggiungere un equilibrio tra sviluppo economico, benessere sociale e sostenibilità ambientale, riconoscendo il ruolo centrale dell'uomo. A sua volta, il dipendente umano si sentirà più apprezzato, motivato, capace e potrà contribuire, tramite le macchine, a una produzione sostenibile. [3] [4] [5]

### **1.1 EVOLUZIONE INDUSTRIALE: DALL'INDUSTRIA 1.0 A QUELLA 5.0**

Lo Human-Centered Manufacturing nasce in quella che oggi è chiamata Industria 5.0. Per contestualizzarla, è bene ripercorrere l'evoluzione industriale caratterizzata dai seguenti cambiamenti nel tempo:

- 1) Industria 1.0: presenza di primi strumenti meccanici di produzione;
- 2) Industria 2.0: linee di produzione di massa, con l'utilizzo dell'energia elettrica e della divisione del lavoro;
- 3) Industria 3.0: linee di produzione automatizzate, con l'utilizzo dell'elettronica e dei sistemi IT;
- 4) Industria 4.0: linee di produzione connesse, con l'introduzione dell'Additive Manufacturing, della realtà aumentata, della simulazione, dell'industrial IoT, del cloud e dei big data and analytics;
- 5) Industria 5.0: sistemi di produzione Human-centric, resilienti e sostenibili. [2]



**Figura 1-Evoluzione Industriale**

### 1.1.1 INDUSTRIA 5.0

Il concetto di Industria 5.0 è un paradigma produttivo che punta non solo a un'evoluzione tecnologica, ma soprattutto a una trasformazione che pone l'essere umano al centro del processo di produzione. Inoltre, mira a sfruttare la precisione e l'efficienza delle macchine, integrandole con la creatività, le competenze e le capacità decisionali dell'essere umano. Le tecnologie vengono utilizzate per migliorare le capacità umane e non per sostituirle. Questo approccio si traduce in una maggiore personalizzazione, innovazione e sostenibilità nei processi di produzione. Secondo la Commissione Europea l'industria 5.0 deve raggiungere gli obiettivi sociali al di là dei posti di lavoro e della crescita, per diventare un fornitore di prosperità resiliente, facendo sì che la produzione rispetti i limiti del nostro pianeta e mettendo il benessere dei lavoratori al centro del processo di produzione. L'adozione di questi principi da parte delle aziende non solo migliorerà le loro prestazioni economiche, ma contribuirà anche a creare un lavoro più appagante e sicuro per tutti.

Tra le principali caratteristiche ci sono:

- Collaborazione uomo-macchina: cooperazione tra lavoratori e robot collaborativi (cobot), che lavorano fianco a fianco per migliorare la qualità e la personalizzazione dei prodotti. I cobot sono progettati per assistere gli esseri umani eseguendo attività ripetitive o pericolose.

- Personalizzazione e flessibilità: le aziende saranno in grado di offrire prodotti altamente personalizzati su larga scala. Ciò è reso possibile dall'utilizzo di tecnologie avanzate come la stampa 3D, l'intelligenza artificiale e l'apprendimento automatico, che consentono di adattare la produzione alle esigenze specifiche dei singoli clienti senza compromettere l'efficienza. Le linee di produzione diventano così più flessibili e adattabili. In questo modo, le aziende possono aspettarsi di rimanere competitive in un mercato globale sempre più complesso e dinamico.
- Sostenibilità ed economia circolare: l'Industria 5.0 è sostenibile: garantisce i bisogni delle generazioni attuali senza compromettere quelli delle generazioni future. Le tecnologie intelligenti vengono utilizzate per ridurre gli sprechi, ottimizzare l'uso delle risorse e diminuire l'impatto ambientale della produzione. Inoltre, l'attenzione alla sostenibilità si estende al benessere dei lavoratori, promuovendo condizioni di lavoro più sane e sicure.
- Resilienza: capacità di reagire ai cambiamenti improvvisi, anche traumatici, senza riportare conseguenze permanenti. L'industria 5.0 presenta un alto grado di robustezza nella produzione che garantisce alti livelli di continuità produttiva in caso di pandemie, catastrofi naturali, cambiamenti geopolitici.
- AI avanzata: l'AI ha un ruolo cruciale, non solo per l'automazione dei processi, ma anche per assistere gli operatori umani. Gli algoritmi AI possono analizzare grandi quantità di dati in tempo reale, fornendo suggerimenti e supporto alle decisioni. La combinazione con la mente umana promuove un ambiente di lavoro dinamico e innovativo.

In sostanza, è necessario creare un equilibrio tra progresso tecnologico e responsabilità sociale, assicurando che l'innovazione industriale possa contribuire positivamente alla società e all'ecosistema. Tuttavia, nonostante i numerosi vantaggi, l'Industria 5.0 presenta anche delle sfide:

- Significativi investimenti iniziali per l'implementazione di nuove tecnologie;
- Trasformazione culturale all'interno delle aziende; è infatti necessario riconsiderare il modo in cui queste vengono implementate all'interno delle fabbriche, rivedere i modelli organizzativi dell'azienda e ridisegnare i processi produttivi;
- Investimenti nella formazione e nello sviluppo delle competenze dei propri dipendenti, in modo che possano interagire in sicurezza ed efficacemente;

- Gestione dei cambiamenti nei processi produttivi e nell'organizzazione aziendale, con il coinvolgimento attivo dei dipendenti per minimizzare la resistenza al cambiamento;
- Miglioramento della sicurezza informatica dovuto al progresso tecnologico. [6] [7] [8] [9] [10]

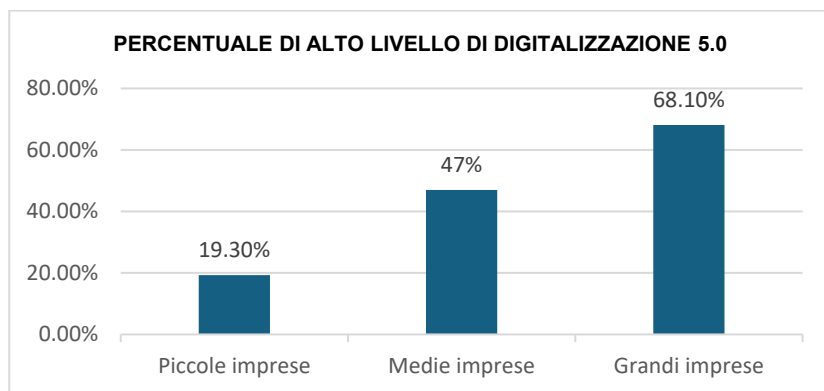
### **1.1.1.1 INDAGINE ISTAT SULL'UTILIZZO DELLE TECNOLOGIE 5.0 IN ITALIA**

L'ISTAT ha condotto un sistema di 44 indagini sul livello di adozione delle tecnologie legate all'industria 5.0 coinvolgendo oltre 452 mila imprese italiane. Di queste, il 95% sono piccole imprese che hanno partecipato in media a 1,53 indagini ciascuna, l'1% sono grandi imprese che hanno partecipato in media a oltre 11 indagini ciascuna, il 4% sono medie imprese che hanno partecipato in media a un numero di indagini superiore a quello delle piccole imprese e inferiore a quello delle grandi. A tal proposito, l'ISTAT sta riscontrando difficoltà crescenti nel coinvolgere nuove imprese, in particolare le PMI, nelle sue rilevazioni.

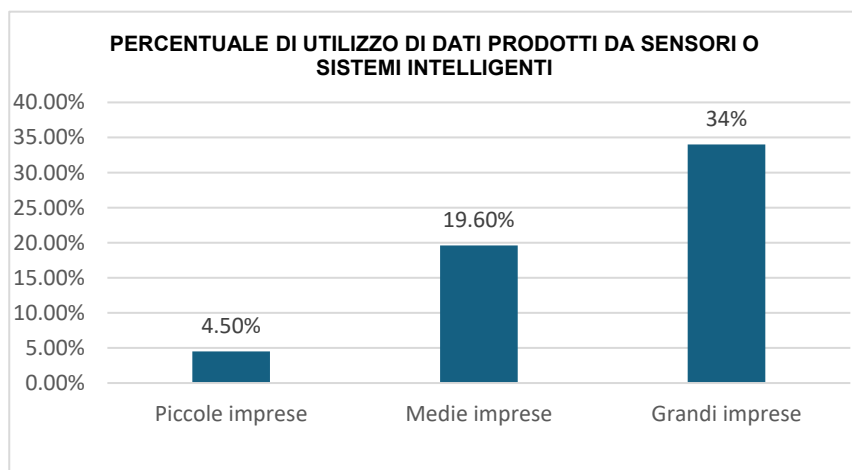
| Dimensione di impresa   | Numero di imprese coinvolte per tipologia di indagini dirette |            |                |            |                |            |
|-------------------------|---|------------|----------------|------------|----------------|------------|
|                         | Totale  | %          | Strutturali    | %          | Congiunturali  | %          |
| Micro e piccole imprese | 430.449   | 95         | 373.900        | 95         | 111.420        | 87         |
| Medie imprese           | 18.425  | 4          | 18.135         | 4          | 13.036         | 10         |
| Grandi imprese          | 3.448   | 1          | 3.418          | 1          | 3.026          | 2          |
| <b>Totale</b>           | <b>452.322</b>  | <b>100</b> | <b>395.453</b> | <b>100</b> | <b>127.482</b> | <b>100</b> |

*Figura 2-Numero di imprese coinvolte per tipologia di indagini dirette*

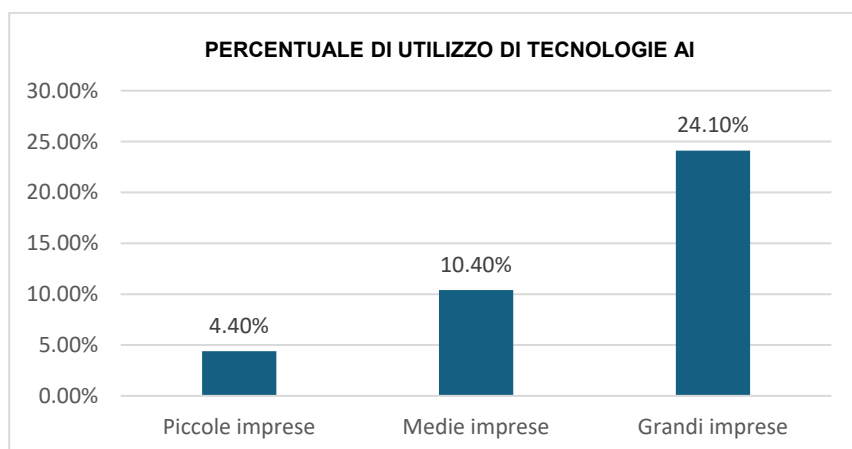
Dalle indagini effettuate sono emersi i seguenti risultati:



*Figura 3-Percentuale di alto livello di digitalizzazione 5.0*



*Figura 4-Percentuale di utilizzo di dati prodotti da sensori o sistemi intelligenti*

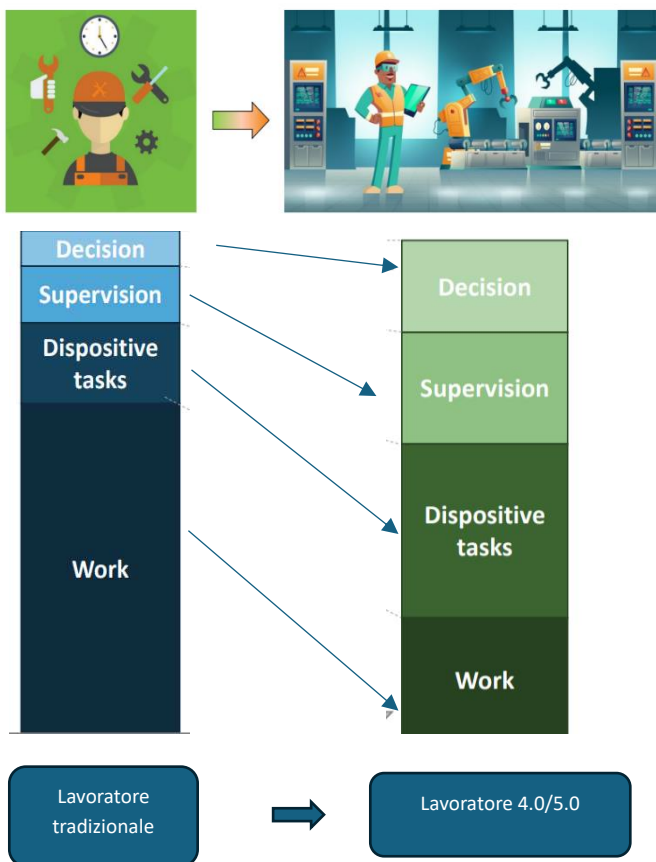


*Figura 5-Percentuale di utilizzo di tecnologie AI*

Si può osservare dai grafici sovrastanti che, per tutti e tre gli aspetti considerati, ossia l'alto livello di digitalizzazione 5.0, l'utilizzo di dati prodotti da sensori o sistemi intelligenti e l'utilizzo di tecnologie AI, le grandi aziende sono quelle con la percentuale più alta. Le medie imprese si collocano in una posizione intermedia, mentre le piccole imprese sono quelle meno all'avanguardia. In conclusione, queste indagini ISTAT mostrano come l'industria 5.0 sta lentamente prendendo piede in Italia, ma la sua adozione è ancora limitata e disomogenea. [11]

### 1.1.2 EVOLUZIONE DEL LAVORATORE

Con l'evoluzione industriale è seguita anche una importante evoluzione del lavoratore: si è passati dal lavoratore tradizionale a quello che prende il nome di lavoratore 4.0/5.0. Il primo svolge prevalentemente task tradizionali con prevalenza dell'attività fisica, il secondo si interfaccia per lo più con le tecnologie abilitanti e svolge task diversi legati al controllo, all'interazione e alla cooperazione con le macchine.



*Figura 6-Evoluzione del lavoratore*

Dall'immagine sovrastante si evince come nella trasformazione del lavoratore si è passati a una riduzione del lavoro fisico e ad un aumento dei task cognitivi. L'essere umano è sempre di più soggetto a stimoli derivanti dall'interazione con le nuove tecnologie. Nasce, quindi, il bisogno di individuare soluzioni per affrontare e gestire compiti fisici e mentali sempre più complessi; di questo si parlerà più avanti nel capitolo sull'Ergonomia. [2]

### 1.1.2.1 EVOLUZIONE DEI BISOGNI DELL'OPERATORE

Nell'ottica dello Human-Centered Manufacturing e di conseguenza dell'industria 5.0 è fondamentale definire la piramide di Maslow che descrive l'evoluzione dei bisogni del lavoratore come effetto dell'evoluzione industriale nel tempo.



*Figura 7-Evoluzione dei bisogni del lavoratore*

La piramide si compone di cinque livelli:

- 1) Safety: bisogno del lavoratore di sentirsi al sicuro e protetto all'interno dell'ambiente di lavoro, vedendo soddisfatti tutti i suoi diritti;
- 2) Health: bisogno del lavoratore di essere tutelato sulla salute fisica e mentale all'interno del luogo di lavoro;
- 3) Belonging: bisogno del lavoratore di sentirsi apprezzato e parte integrante del gruppo di lavoro;

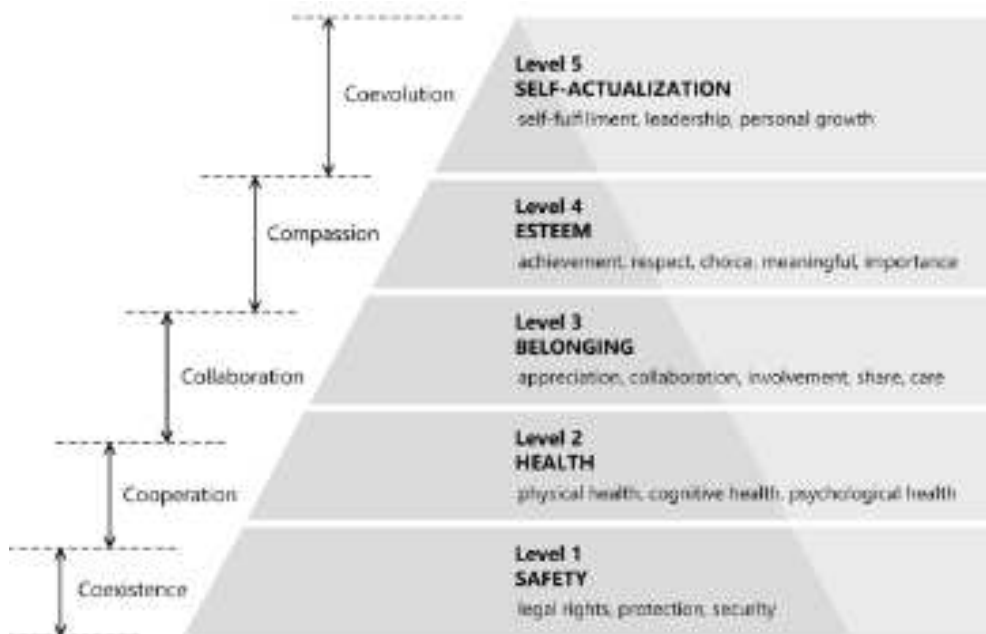
- 4) Esteem: bisogno del lavoratore di sentirsi valorizzati, stimati e rispettati dai propri colleghi di lavoro;
- 5) Self-actualization: bisogno del lavoratore di sentirsi auto-realizzato, di aver compiuto una crescita personale all'interno del contesto lavorativo. [12] [30]

### **1.1.2.1.1 EVOLUZIONE DELLA COLLABORAZIONE UOMO-MACCHINA**

Parallelamente all'evoluzione dei bisogni del lavoratore si può osservare l'evoluzione della collaborazione uomo-macchina, basata anch'essa su cinque livelli:

- 1) Coesistenza: le macchine sono semplici strumenti per gli esseri umani, coesistono e lavorano in modo indipendente (industria 1.0 e 2.0);
- 2) Cooperazione: Macchine ed esseri umani condividono uno spazio di lavoro parzialmente sovrapposto. A volte condividono temporaneamente i compiti ma non lavorano simultaneamente sullo stesso compito (industria 3.0);
- 3) Collaborazione: Macchine ed esseri umani collaborano in uno spazio interamente condiviso e portano a termine compiti tramite attività congiunte sincronizzate (industria 4.0);
- 4) Compassione: Le macchine percepiscono le emozioni, i bisogni e le preferenze umane. Gli umani si preoccupano della salute delle macchine empatiche (Industria 5.0);
- 5) Coevoluzione: Macchine ed esseri umani si evolvono in maniera congiunta, sviluppando capacità attraverso interazioni uomo-macchina (Industria 5.0).

Pertanto, i sistemi di produzione incentrati sull'uomo devono avere empatia bidirezionale, comunicazione proattiva e intelligenza collaborativa per stabilire relazioni di coevoluzione uomo-macchina affidabili. [4] [30]



**Figura 8-Evoluzione della collaborazione uomo-macchina**

## 1.2 SOSTENIBILITA' SOCIALE

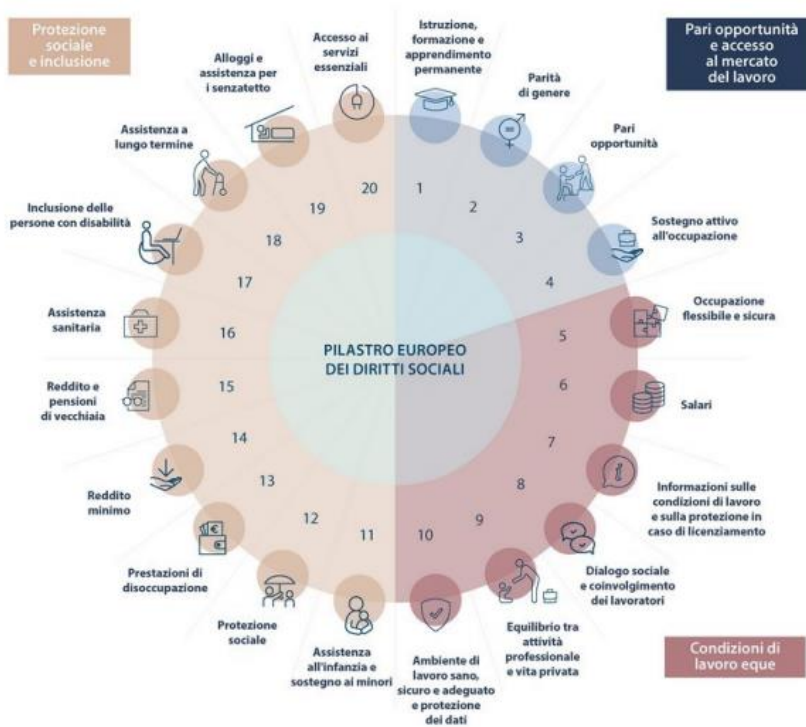
Come è stato già detto nei capitoli precedenti, con l'industria 5.0 si sta facendo un passo in avanti verso un modello più sostenibile, incentrato sui bisogni, sulla salute e sulla sicurezza delle persone. Secondo l'istituto di Oxford per lo sviluppo sostenibile la sostenibilità sociale riguarda il modo in cui individui, comunità e società convivono e lavorano per raggiungere gli obiettivi dei modelli di sviluppo che hanno scelto, tenendo conto dei limiti fisici dei loro luoghi e del pianeta Terra nel suo complesso. A livello più operativo, deriva da azioni in aree tematiche chiave che coinvolgono la sfera sociale di individui e società, e che spaziano dalla costruzione di capacità e sviluppo delle competenze alle disuguaglianze ambientali e spaziali. In questo senso, la sostenibilità sociale unisce le aree tradizionali delle politiche sociali e i loro principi, come l'equità e la salute, con questioni emergenti che riguardano la partecipazione, i bisogni, il capitale sociale, l'economia, l'ambiente e, più recentemente, le nozioni di felicità, benessere e qualità della vita. Lo sguardo è rivolto verso l'identificazione e la gestione degli impatti aziendali, sia positivi che negativi, sulle persone. La qualità delle relazioni di un'azienda e del coinvolgimento con i suoi stakeholder è fondamentale. Direttamente o indirettamente, le aziende influenzano ciò che accade ai dipendenti, ai lavoratori della catena del valore, ai clienti e alle comunità locali, ed è importante gestire gli impatti in modo proattivo.

D'altra parte, puntare alla sostenibilità sociale può aiutare le imprese in diversi modi:

- Sbloccare nuovi mercati;
- Trattenerne e attrarre partner commerciali;
- Diventare fonte di innovazione per nuovi prodotti o servizi;
- Aumentare il morale interno e il coinvolgimento dei dipendenti;
- Migliorare la gestione del rischio;
- Migliorare i conflitti azienda-comunità.

Una linea guida per realizzare risultati sociali e occupazionali efficaci in risposta alle sfide attuali e future, così da soddisfare i bisogni essenziali della popolazione e garantire una migliore attuazione e applicazione dei diritti sociali, è rappresentata dal Pilastro Europeo Dei Diritti Sociali, fondato su tre principali macroaree:

- Protezione sociale e inclusione;
- Pari opportunità e accesso al mercato del lavoro;
- Condizioni di lavoro eque.



**Figura 9-Pilastro Europeo dei Diritti sociali**

Un pilastro particolarmente rilevante è il decimo: Ambiente di lavoro sano, sicuro e adeguato e protezione dei dati. È essenziale che i lavoratori abbiamo il diritto a:

- Un elevato livello di tutela della salute e della sicurezza sul luogo di lavoro;
- Un ambiente di lavoro adeguato alle loro esigenze professionali e che consenta loro di prolungare la partecipazione al mercato del lavoro;
- Una protezione dei propri dati personali nell'ambito del rapporto di lavoro.

La dimensione sociale della sostenibilità, quindi, riguarda il benessere umano in modo equo per tutti, senza discriminazioni di classe o genere. L'obiettivo è garantire che il benessere cresca e non si deteriori. Questo si basa sul principio etico dell'equità sociale, che punta a:

- Assicurare che le persone abbiano pari opportunità di accesso a servizi importanti come la sanità, l'educazione e i trasporti;
- Garantire equità tra le generazioni, in modo che le generazioni future possano godere degli stessi benefici che abbiamo oggi;
- Proteggere e valorizzare le diverse culture e consentire la partecipazione dei cittadini nelle decisioni;
- Promuovere un senso di responsabilità nella comunità.

In merito allo sviluppo sostenibile, è nata l'Agenda ONU 2030, un programma d'azione globale finalizzato a sradicare la povertà, proteggere il pianeta e garantire la prosperità e la pace. Essa comprende 17 Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (Sustainable Development Goals, SDGs), che gli Stati si sono impegnati a raggiungere entro il 2030. L'Agenda 2030 impegna tutti i Paesi a contribuire allo sforzo necessario a portare il mondo su un sentiero sostenibile, senza più distinzione tra Paesi sviluppati, emergenti e in via di sviluppo. Tra gli obiettivi ci sono alcuni orientati alla sostenibilità sociale:

- Sconfiggere la povertà;
- Sconfiggere la fame;
- Salute e benessere;
- Istruzione di qualità;
- Parità di genere. [2] [13] [14]



*Figura 10-Agenda ONU 2030*

### **1.2.1 OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH**

L'organizzazione internazionale del lavoro definisce l'Occupational Safety and Health (OSH) come la disciplina che si occupa della prevenzione degli infortuni e delle malattie legate al lavoro, nonché la protezione e la promozione della salute dei lavoratori. Secondo la UN Global Compact, ogni anno, circa 2,78 milioni di lavoratori muoiono a causa di infortuni sul lavoro e malattie legate al lavoro, mentre altri 374 milioni di lavoratori soffrono di infortuni sul lavoro non mortali. Ciò significa che ogni giorno muoiono 7.500 persone a causa di condizioni di lavoro non sicure e malsane. I decessi legati al lavoro superano la media annuale dei decessi dovuti a incidenti stradali (999.000), guerre (502.000), violenza (563.000) e HIV/AIDS (312.000). Il settore manifatturiero, edile, dei trasporti e dello stoccaggio registrano il più alto livello di infortuni sul lavoro e i lavoratori più esposti agli infortuni sul lavoro sono:

- Lavoratori precari (lavoratori temporanei, occasionali o part-time);
- Lavoratori con lavoro informale;
- Coloro che lavorano nelle piccole e medie imprese (PMI);
- Gruppi soggetti a discriminazione ed emarginazione (lavoratori migranti, giovani, minoranze razziali ed etniche).

Tra le principali cause ci sono: lacune nella governance, quadri legislativi carenti, conoscenze e risorse insufficienti, business practices non sostenibili e mancanza di una cultura della prevenzione a livello nazionale e sul posto di lavoro. È di fondamentale importanza ricordare che la salute e la sicurezza sul lavoro sul posto di lavoro non si applicano soltanto ai lavori tipicamente pericolosi, ma a tutti i luoghi, compresi gli uffici. La più grande sfida in ambito OSH risiede nella percezione che le aziende hanno nei confronti del binomio benefici-costi. Quando si analizzano gli investimenti in OSH, è utile pensare a tre categorie: benefici diretti e indiretti e costi. Tra i benefici diretti ci sono:

- Aumento dei livelli di produttività;
- Riduzione degli incidenti e delle malattie;
- Riduzione dei costi assicurativi;
- Aumento del morale, dell'impegno e della motivazione del personale;
- Miglioramento dell'immagine aziendale che può aiutare ad attrarre talenti e nuovi clienti.

Tra i benefici indiretti ci sono:

- Riduzione spese di pronto soccorso, assistenza sanitaria, cure mediche e riabilitazione per i lavoratori direttamente interessati;
- Riduzione retribuzione per il tempo impiegato dai lavoratori e dai supervisor a fornire il primo soccorso e a portare i lavoratori infortunati alle cure mediche;
- Riduzione costi legati al tempo manageriale impiegato per indagare sull'incidente;
- Riduzione costo di sostituzione del personale, inclusa la formazione;
- Riduzione spese legali e multe/sanzioni;
- Riduzione dell'assenteismo;

Invece, tra i costi ci sono:

- Assunzione professionisti in materia di SSL o stipulazione contratti con servizi di consulenza per supportare le attività di prevenzione;
- Formazione dei dipendenti e dei supervisor sui rischi SSL;
- Retribuzioni dei lavoratori e dei supervisor coinvolti nella gestione della SSL e che partecipano ad attività preventive (valutazione dei rischi, sorveglianza della salute del lavoratore, pianificazione delle emergenze, formazione, ecc.);
- Cambiamenti nelle infrastrutture, materiali, macchinari, attrezzature e sostanze utilizzate nei processi produttivi;

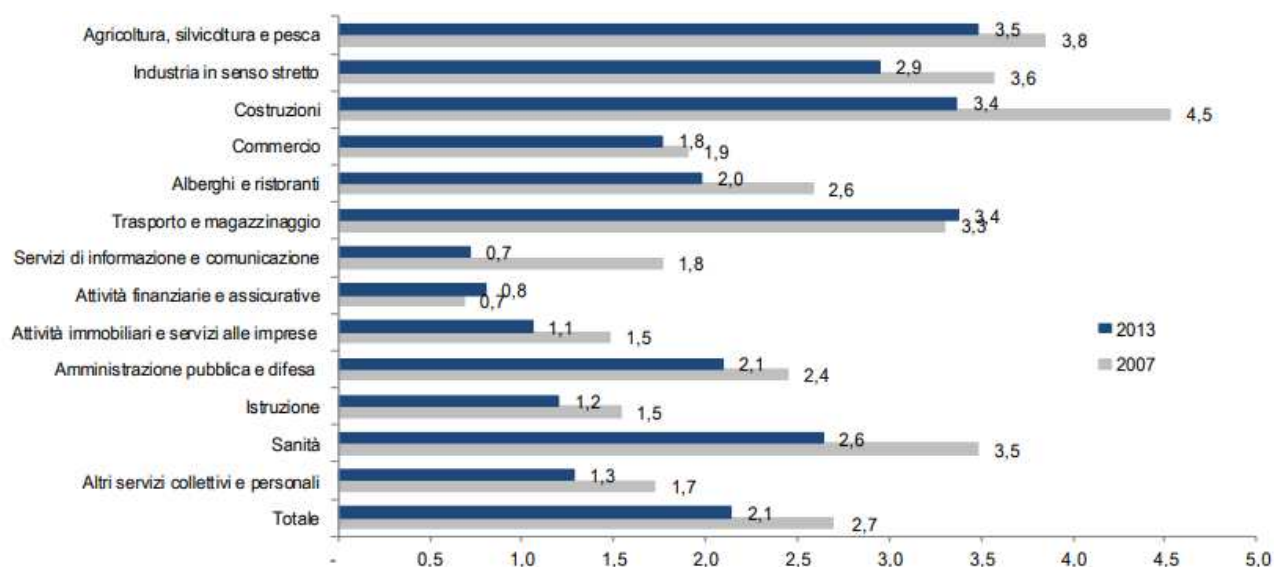
- Formazione dei dipendenti sul corretto utilizzo di macchine, materiali e dispositivi di protezione;
- Manutenzione di macchinari e attrezzature;
- Riprogettazione dei luoghi di lavoro.

Molte aziende, durante la valutazione di questo investimento, non considerano minimamente i benefici indiretti, per cui percepiscono i costi come elevati rispetto ai benefici. Di conseguenza, decidono di non adottare soluzioni per la prevenzione di incidenti e malattie legate al lavoro. [2]

### **1.2.1.1 SALUTE E SICUREZZA SUL LAVORO: ANALISI ISTAT**

L'ISTAT nel secondo trimestre del 2013 ha condotto un'indagine sulla salute e sicurezza sul lavoro in Italia, per comprendere l'evoluzione delle condizioni di lavoro, in termini di infortuni, problemi di salute ed esposizione a fattori di rischio. 714.000 persone hanno dichiarato di aver subito almeno un infortunio sul lavoro o durante il tragitto tra casa e lavoro, pari al 2,9% degli occupati e non occupati con esperienza lavorativa nei 12 mesi precedenti. Questo dato rappresenta un calo rispetto al 2007, dove il numero di infortuni era significativamente più elevato, 937.000, coinvolgendo il 3,7% della stessa popolazione. Anche i problemi di salute causati o aggravati dall'attività lavorativa hanno registrato una diminuzione: nel 2013, 2 milioni 282 mila di persone hanno dichiarato di aver avuto problemi di salute correlati al lavoro, pari al 5,4% del totale degli occupati e non occupati con precedenti esperienze di lavoro. Questo segna un netto miglioramento rispetto al 2007, quando la percentuale era del 6,9%. È interessante notare come le problematiche siano più diffuse tra gli uomini (5,7%) rispetto alle donne (5,1%), e tra i lavoratori italiani (5,5%) rispetto ai lavoratori stranieri (4,7%). L'indagine rivela che i disturbi muscoloscheletrici sono i problemi di salute più diffusi tra chi ha segnalato disagi, rappresentando il 59,0% dei casi, con un'incidenza particolarmente alta dei problemi alla schiena (29,5%). Inoltre, l'11,9% delle persone ha riportato disturbi psicologici, come stress, depressione e ansia, legati alla pressione temporale e al sovraccarico di lavoro, evidenziando l'importanza di considerare anche la salute mentale nei luoghi di lavoro. Infine, un dato rilevante riguarda la percezione del rischio sul lavoro: oltre 17 milioni di occupati, pari al 76,6% del totale, hanno segnalato la presenza di almeno un fattore di rischio per la salute. Il 74,7% si sente esposto ad almeno un fattore di rischio fisico (degli 8 indagati), mentre il 27% ad almeno uno dei fattori di rischio psicologico (dei 3 indagati). Tra i principali fattori di rischio fisico percepiti spiccano l'esposizione a sostanze chimiche, polvere, fumi, rumore, vibrazioni, posture difficili e

movimentazione manuale di carichi pesanti. Tra quelli di natura psicologica ci sono, soprattutto, come già ribadito sopra, il carico di lavoro eccessivo e le tempistiche di lavoro pressanti. Questa analisi sottolinea l'importanza e la necessità di un'attenzione continua alla prevenzione dei rischi sul lavoro, in modo da migliorare ulteriormente la sicurezza e la salute dei lavoratori in Italia.



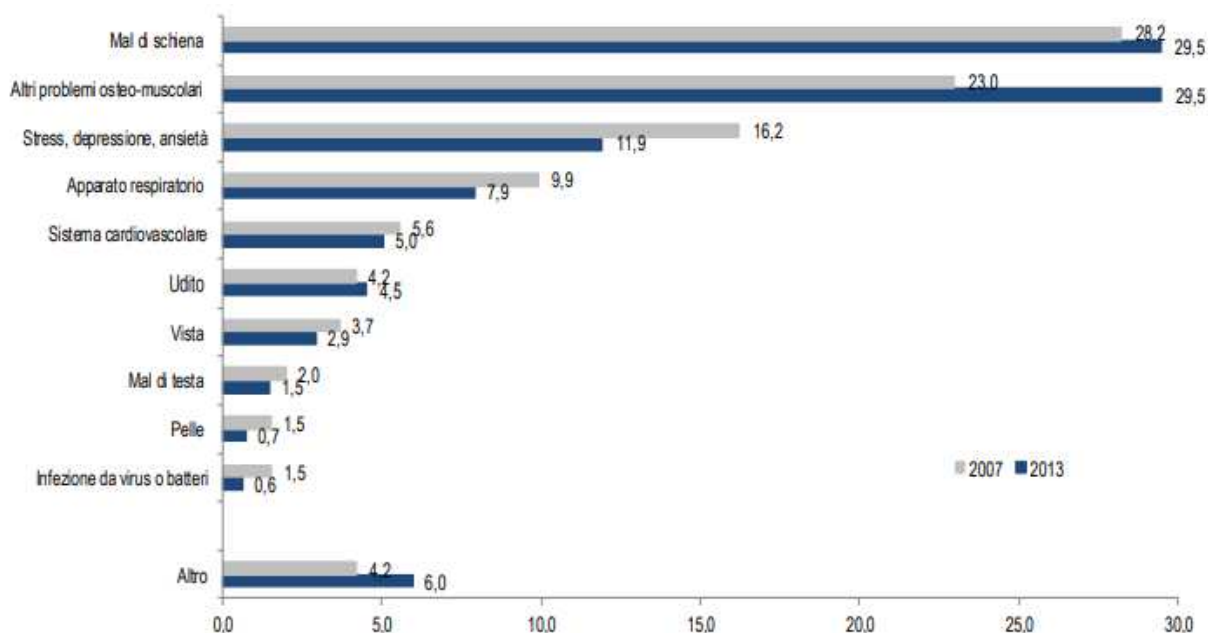
**Figura 11- Tasso di infortuni sul lavoro in diversi settori economici nel 2007 e nel 2013**

Il presente grafico confronta il tasso di infortuni sul lavoro tra il secondo trimestre del 2007 e quello del 2013 in diversi settori economici. Tra i più colpiti, in entrambi gli anni, troviamo l'agricoltura, la manifattura, le costruzioni, i trasporti e la sanità. Ciò nonostante, si evince un notevole miglioramento nei seguenti settori:

- Sanità: riduzione della percentuale di infortunio da 3,5% a 2,6%;
- Costruzioni: riduzione della percentuale di infortunio da 4,5% a 3,4%;
- Manifattura (industria in senso stretto): riduzione della percentuale di infortunio da 3,6% a 2,9%.

Questo suggerisce che le misure di prevenzione e sicurezza sul lavoro stanno dando risultati concreti. Anche altri settori, come ristorazione e servizi di informazione e comunicazione, hanno registrato una diminuzione nel corso del tempo. Qualuno, invece, seppure in piccole percentuali, ha aumentato il suo tasso di infortunio sul lavoro. In conclusione, facendo una media delle percentuali di infortunio nei diversi settori economici nel 2007 e nel 2013 si evince una riduzione dello 0,6% (da 2,7% a 2,1%).

È importante, però, continuare ad investire su attività di prevenzione degli infortuni e delle malattie legate al lavoro, per contrastare sempre di più la vulnerabilità presente in diversi settori.



**Figura 12-Principali problematiche di salute nel 2007 e nel 2013**

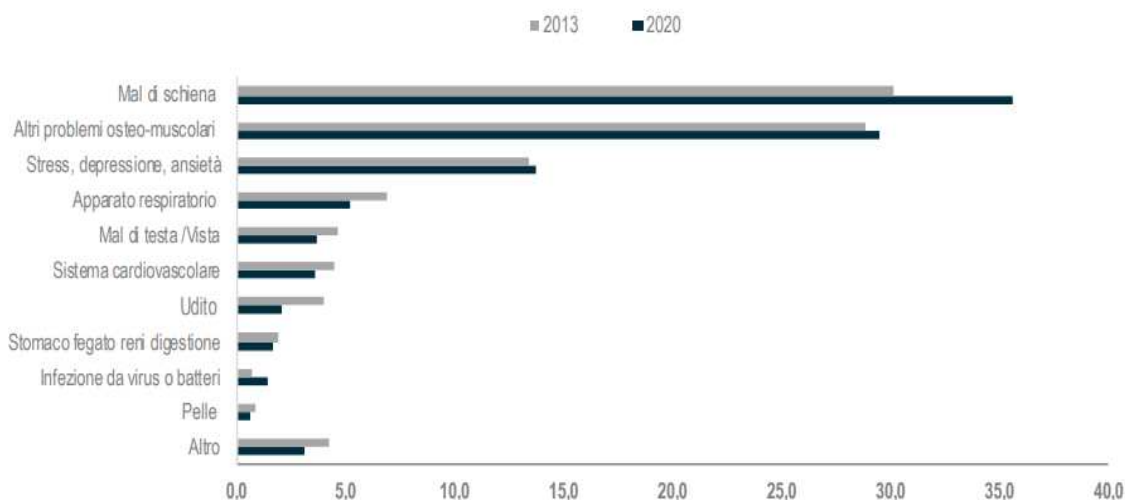
Il grafico sovrastante, invece, evidenzia le principali problematiche di salute riscontrate dai lavoratori negli ultimi 12 mesi. Si può osservare come i problemi più comuni riguardano la schiena e le articolazioni/muscoli, seguiti da disturbi psicologici come stress, depressione e ansia. Circa il 29,5% dei lavoratori ha segnalato, nel 2013, di avere problemi alla schiena e alle articolazioni/muscoli, a differenza del 2007 dove le percentuali erano rispettivamente del 28,2% e 23%. Invece, la percentuale di lavoratori che ha dichiarato di avere stress, depressione o ansia è diminuita dal 16,2% nel 2007 all'11,9% nel 2013. Questo potrebbe indicare un miglioramento nelle condizioni psicologiche o una maggiore consapevolezza nella gestione dello stress lavorativo. Anche altre patologie come problemi respiratori, cardiovascolari, oculari ecc. hanno registrato un calo nel corso degli anni. Un aumento dello 0,3% ha, invece, interessato problemi legati all'udito (da 4,2% a 4,5%). Facendo una media delle percentuali delle diverse problematiche riscontrate dai lavoratori nel 2007 e nel 2013 si evince una riduzione dello 0,18% (da 9,58% a 9,4%). In sintesi, i dati mostrano un miglioramento delle condizioni di lavoro sia in termini di riduzione degli infortuni che di problemi di salute, sebbene rimangano preoccupazioni significative nei settori più vulnerabili e nei problemi muscolo-scheletrici.

Nel 2020, L'ISTAT ha ricondotto di nuovo l'analisi ed è stato fatto un confronto con i risultati ottenuti nel 2013.



**Figura 13-Tasso di infortunio per settore di attività economica nel 2013 e nel 2020**

Il grafico sovrastante mostra il tasso di infortunio degli occupati per settore di attività economica nel 2013 e nel 2020. Si può osservare come per la sanità c'è stato un aumento di circa lo 0,4% (da 2,6% al 3,1%), mentre per tutti gli altri settori c'è stata una riduzione. È bene ricordare che nel 2020 era in corso la pandemia da SARS-CoV-2, per cui oltre tre milioni di persone non sono state esposte al rischio da lavoro, poiché assenti a causa delle misure governative. Quindi, il confronto con i dati del 2013 va effettuato con cautela.



**Figura 14-Problematiche di salute dovute al lavoro nel 2013 e nel 2020**

Il presente grafico, invece, riporta le problematiche di salute dovute all'attività lavorativa, riscontrate dai lavoratori negli ultimi 12 mesi e messe a confronto con quelle del 2013. Problematiche come disturbi muscoloscheletrici, stress e depressione e infezioni da virus e batteri hanno registrato un aumento, rispettivamente da 29,5% a circa il 36%, da 11,9% a circa il 14% e da circa l'1% al 2,1%. Invece, altri problemi di salute che riguardano apparato respiratorio, mal di testa, sistema cardiovascolare ecc. hanno registrato una riduzione. [15] [16]

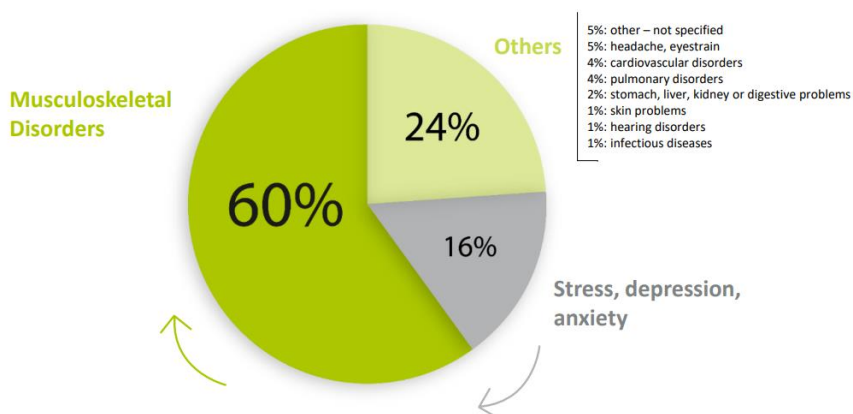
### 1.3 RISCHI DA LAVORO CORRELATO

Tra i rischi dei lavoratori da lavoro correlato ci sono:

- Disturbi muscolo-scheletrici (DMS);
- Stress, depressione e ansia;
- Altre problematiche come cefalea, disturbi cardiovascolari, disturbi polmonari, problemi digestivi ecc.

Il grafico sottostante mostra la percentuale di lavoratori che riferiscono un problema di salute legato al lavoro, per tipo di problema:

- il 60% evidenzia la presenza di disturbi muscolo-scheletrici;
- il 16% evidenzia la presenza di stress, ansia e depressione;
- il restante 24% manifesta la presenza di altri disturbi. [2]



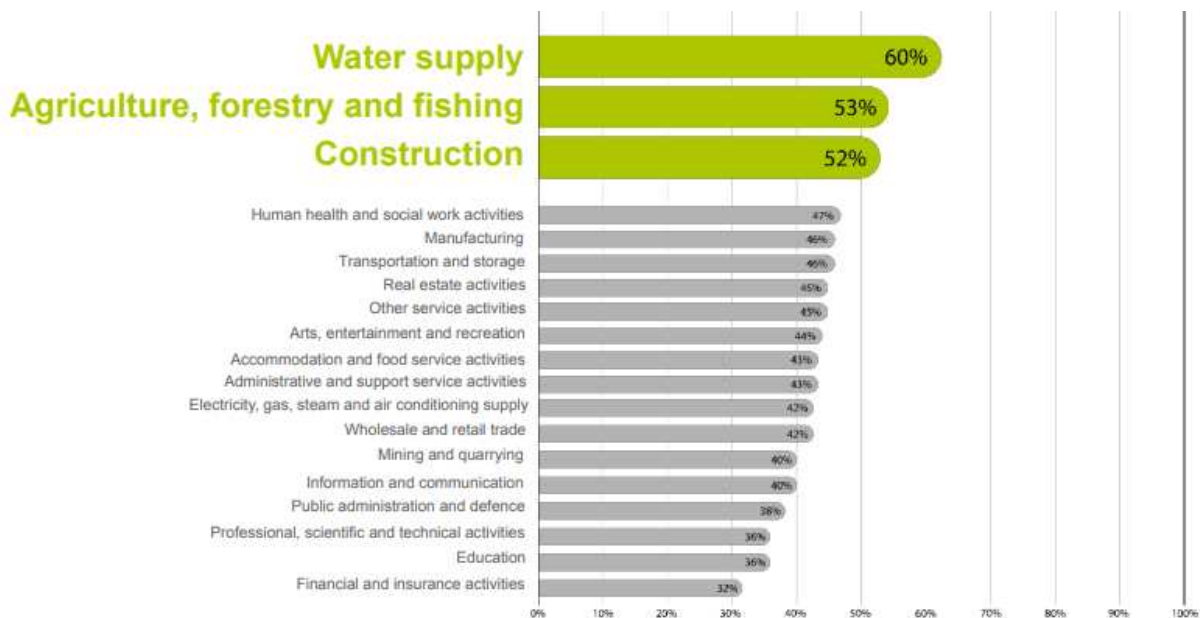
**Figura 15-Percentuale di lavoratori che riferiscono un problema di salute legato al lavoro per tipo di problema**

### 1.3.1 DISTURBI MUSCOLO-SCHELETRICI

I disturbi muscolo-scheletrici sono caratterizzati da senso di peso, senso di fastidio, intorpidimento, formicolio, rigidità, dolore a rachide, arti superiori e arti inferiori. Rappresentano la seconda maggiore causa di disabilità nel mondo (21,3%) e pesano per metà delle assenze dal lavoro e per il 60% di inabilità permanente sul lavoro. Tra le cause più frequenti ci sono:

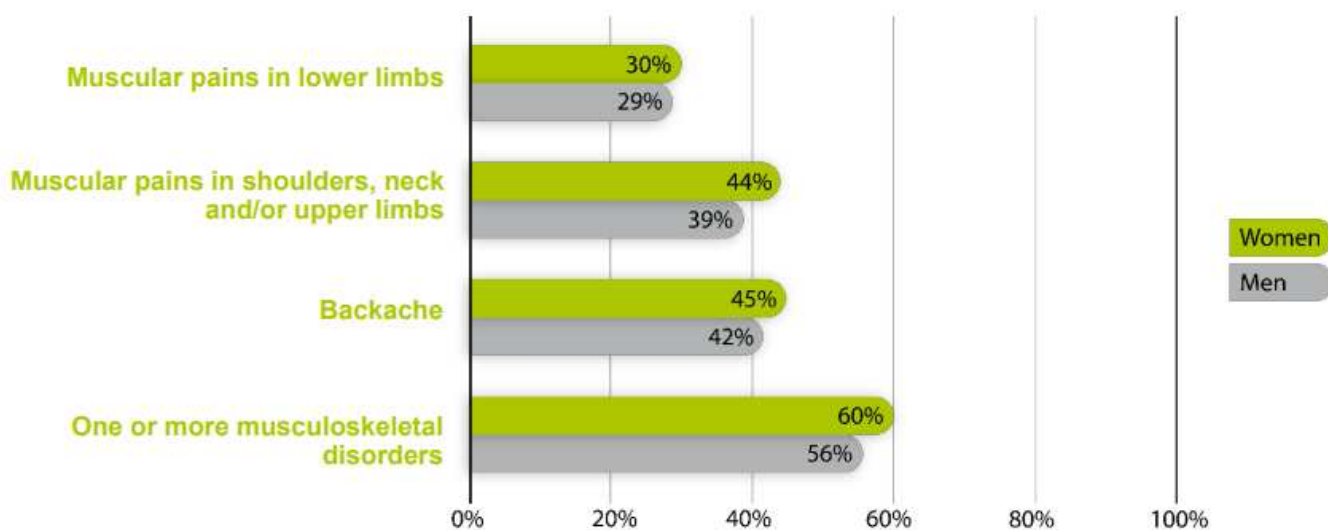
- Sforzi fisici eccessivi, frequenti o prolungati;
- Movimentazione manuale dei carichi;
- Movimenti ripetitivi;
- Pause o periodi di recupero fisiologici insufficienti;
- Ritmo di lavoro non modulabile dal lavoratore;
- Inidoneità fisica a svolgere il compito (genere, età, etc.);
- Layout della postazione di lavoro non ergonomico.

Le percentuali di lavoratori che riportano mal di schiena (e DMS in generale) variano notevolmente tra i vari settori e questo lo si può vedere con il presente grafico:



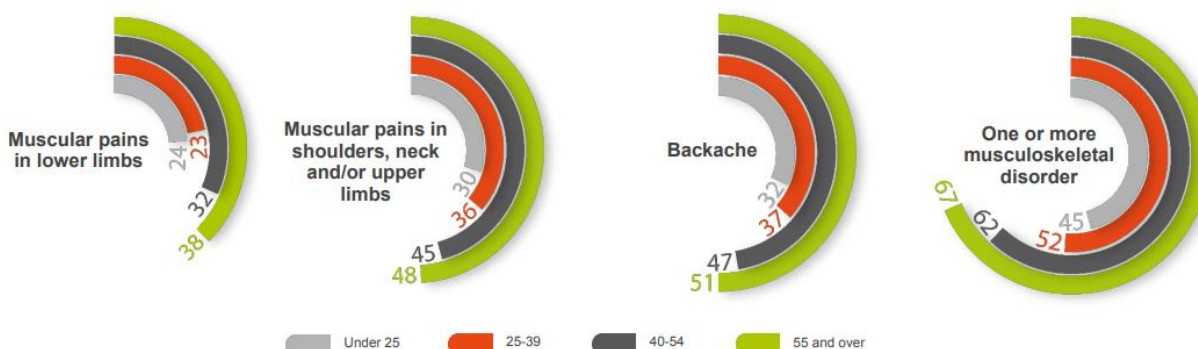
*Figura 16-Percentuale di lavoratori che riportano DMS nei diversi settori*

Si può osservare che settori come approvvigionamento idrico, agricoltura e costruzioni hanno una percentuale di lavoratori che manifestano DMS superiore al 50%, rispettivamente del 60%, 53% e 52%. Seguono poi percentuali piuttosto rilevanti negli altri settori presi in analisi. Questi dati confermano la gravità dell'impatto di questi disturbi sui lavoratori. Inoltre, le donne riferiscono un numero leggermente superiore di DMS rispetto agli uomini, come si evince dal grafico sottostante:



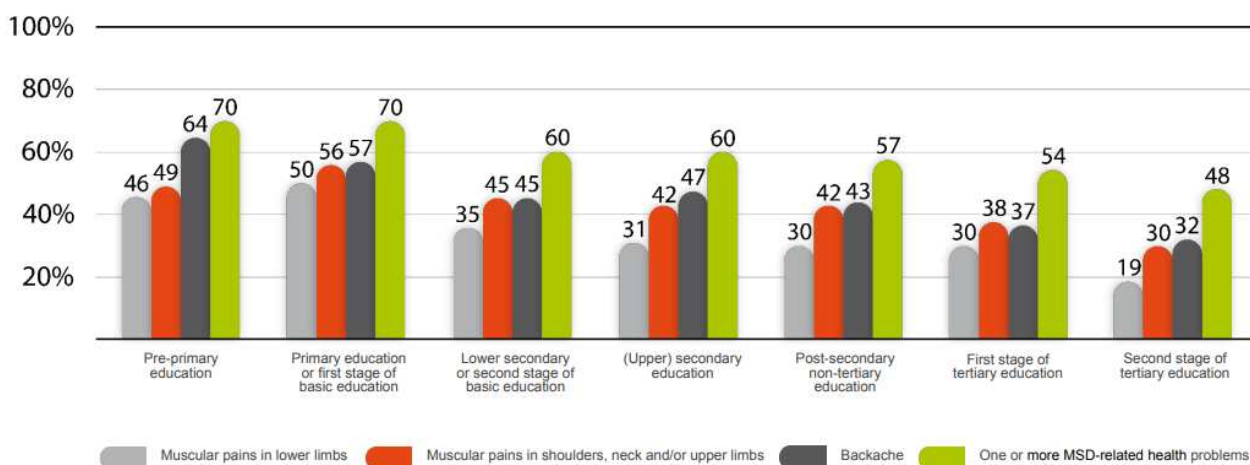
**Figura 17-Confronto tra la percentuale di uomini e donna con DMS**

Il grafico che segue, invece, mostra come il gruppo di età a cui appartiene un lavoratore è impattante sulla percentuale di DMS riferita:



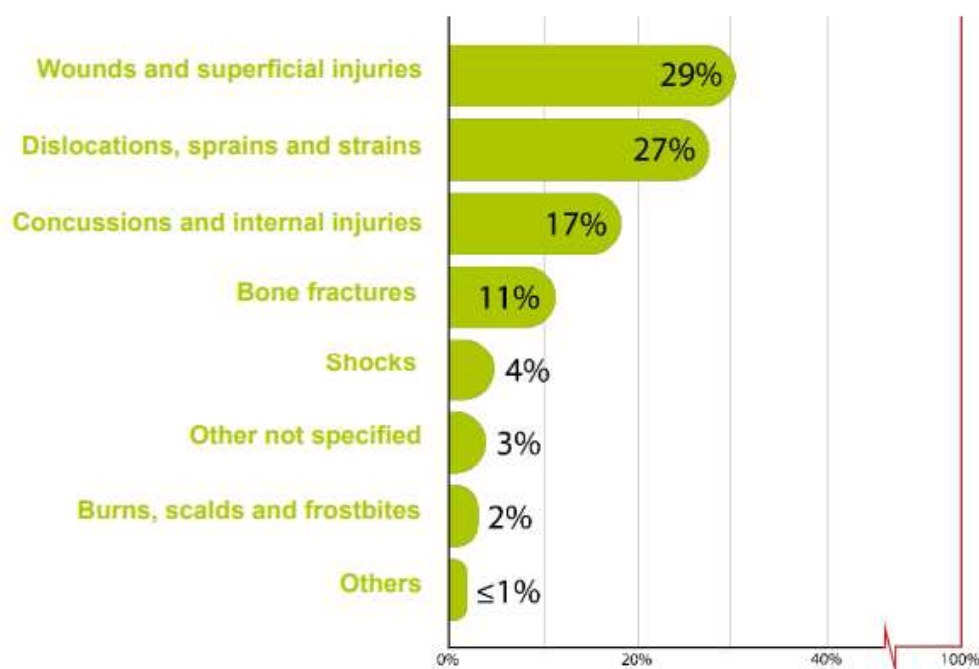
**Figura 18-Impatto del gruppo di età sulla percentuale di DMS**

Si può osservare, infatti, la prevalenza di DMS maggiori tra i lavoratori più anziani. Anche il livello di istruzione influenza la probabilità di contrarre DMS:



**Figura 19-Impatto del livello di istruzione sulla probabilità di contrarre DMS**

Si può infatti osservare dal grafico sopra riportato un aumento della percentuale di disturbi muscolo-scheletrici al diminuire del livello di istruzione. Come ribadito già all’inizio, i lavoratori affetti da DMS sono quelli che maggiormente si assentano dal lavoro a causa di incidenti o infortuni. Tra questi troviamo lussazioni, distorsioni, fratture, stiramenti, ferite e lesioni ecc. Il seguente grafico mostra la distribuzione di quanto appena detto, per tipologia di infortunio:



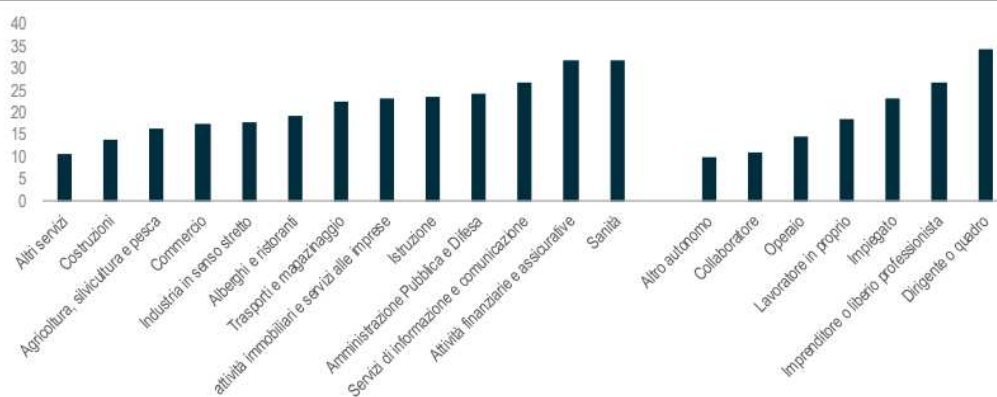
**Figura 20-Percentuale di infortuni dei lavoratori affetti da DMS per tipologia di infortunio**

Tra gli infortuni legati a DMS più rilevanti ci sono ferite e lesioni superficiali, lussazioni, distorsioni e stiramenti, commozioni cerebrali e lesioni interne e fratture ossee, rispettivamente con una percentuale del 29%,27%,17%,11%. [2] [17]

### 1.3.2 STRESS MENTALE

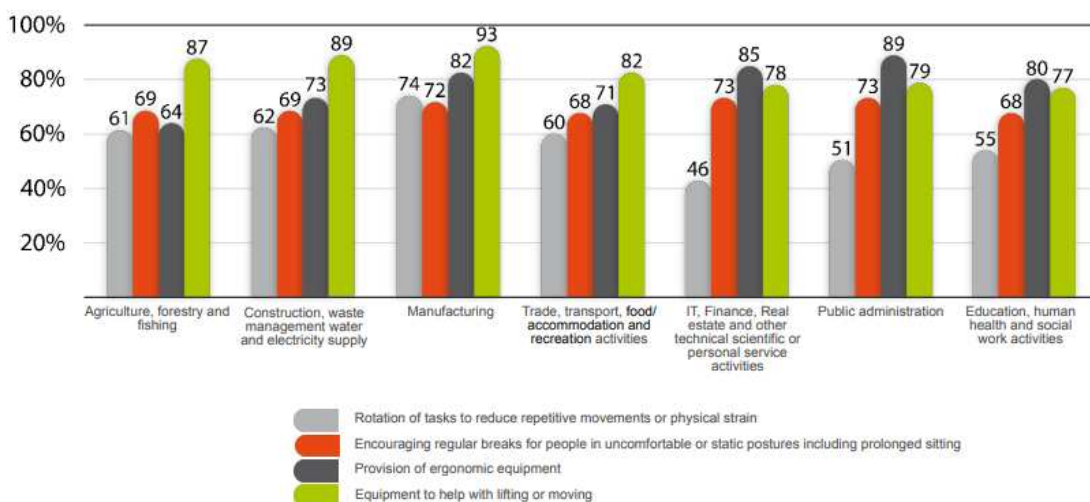
Lo stress lavoro-correlato (SLC), invece, rappresenta quella condizione di squilibrio che si verifica quando il lavoratore non si sente in grado di corrispondere alle richieste lavorative. È il secondo problema di salute legato al lavoro, dopo i disturbi muscolo-scheletrici. Secondo alcuni studi nazionali, circa 1 lavoratore su 4 dichiara di soffrire di stress da lavoro e questo causa assenze per malattia e cambi di lavoro. I lavoratori affetti da stress lavoro-correlato possono arrivare a soffrire di gravi problemi di salute mentale e fisica, che gravano sia sull'individuo che sull'organizzazione. Tra gli effetti sull'individuo ci sono: sovraccarico e depressione, difficoltà di concentrazione e problemi di salute fisica, in particolare malattie cardiovascolari e disturbi muscolo-scheletrici. Tra gli effetti sull'organizzazione, invece, ci sono: scarso rendimento aziendale, maggiore assenteismo e tassi più elevati di incidenti e infortuni. Le cause più frequenti di SLC sono:

- Ritmo e carico di lavoro eccessivi;
- Scarsa autonomia/controllo sulle modalità di svolgimento del proprio lavoro;
- Scarsa valorizzazione e promozione del corretto bilancio vita/lavoro;
- Rapporti interpersonali con colleghi e/o supervisori/superiori;
- Cambiamenti organizzativi mal gestiti e con scarso coinvolgimento del lavoratore;
- Insufficienza o inadeguatezza delle conoscenze, della formazione o del training.



**Figura 21-Percentuale di lavoratori che percepiscono carichi di lavoro eccessivi per settore di attività economica**

Il grafico sovrastante mostra le percentuali dei lavoratori che percepiscono ritmi di lavoro pressanti o carichi di lavoro eccessivi per settore di attività economica e posizione nella professione. Nella sanità e nelle attività finanziarie e assicurative vi è una percentuale del 32% di lavoratori che avvertono questa tipologia di rischio. Seguono poi il settore servizi di informazione e comunicazione con il 26,9%, il settore dell'Amministrazione pubblica e difesa con il 24,3% e quello dell'Istruzione con il 23,8%. In termini di posizione ricoperta, i più esposti sono i dirigenti con una percentuale del 34,6%, seguono poi gli imprenditori e i liberi professionisti con il 27,1% e gli impiegati con il 23,4%. Il presente grafico mostra, invece, le percentuali di dipendenti che lavorano in aziende in cui sono in vigore diverse misure di prevenzione ai rischi da lavoro correlato, per settore:



**Figura 22-Percentuale di dipendenti che lavorano in aziende in cui sono in vigore misure di prevenzione ai rischi da lavoro correlato**

Tra le misure adottate ci sono:

- Rotazione dei compiti per ridurre i movimenti ripetitivi o lo sforzo fisico;
- Incoraggiare pause regolari per le persone che assumono posizioni scomode o statiche, compresa la seduta prolungata;
- Fornitura di attrezzature ergonomiche;
- Attrezzature per facilitare il sollevamento o lo spostamento.

La prima viene maggiormente utilizzata nel settore della manifattura, con una percentuale di lavoratori del 74%; seguono poi i settori di agricoltura, costruzioni e trasporti rispettivamente con il 61%,62%,60%. La seconda, con una percentuale più alta del 73%, interessa il settore della pubblica amministrazione, della finanza e dell'immobiliare; a seguire ci sono gli altri settori come agricoltura, costruzioni, manifattura, con percentuali sempre

piuttosto importanti. La terza, invece, viene maggiormente utilizzata nei settori di pubblica amministrazione, finanza e immobiliare, manifattura e educazione, con rispettivamente una percentuale di 89%,85%,82%,80%. L'ultima misura adottata interessa, con rispettivamente una percentuale del 93%,89%,87%,82%, i settori di manifattura, costruzioni, agricoltura e trasporti. [19] [18] [17] [16]

## **1.4 ERGONOMIA**

La parola ergonomia deriva dalle due parole greche:

- Ergon che significa "lavoro";
- Nomos che significa "legge".

In altri termini, spiega "come lavorare in accordo con la natura". L'associazione internazionale dell'ergonomia definisce l'ergonomia come la disciplina scientifica concernente la comprensione dell'interazione tra gli umani e altri elementi di un sistema, e la professione che applica teoria, principi, dati e metodi per progettare soluzioni in modo da ottimizzare il benessere umano e le prestazioni generali del sistema. L'obiettivo dell'ergonomia di adattare le condizioni di lavoro alla natura psicofisica dell'uomo pone la necessità di ripensare e riprogettare il lavoro. La gestione del carico di lavoro è cruciale per prevenire sovraccarichi e stress eccessivi. È necessario ottimizzare la distribuzione delle attività e dei compiti in un ambiente lavorativo, promuovendo così la salute e l'efficienza dei lavoratori. Questo può essere fatto considerando:

- Equità del carico di lavoro;
- Rotazione delle mansioni;
- Fattibilità delle scadenze;
- Pausa e recupero;
- Variazione dell'intensità;
- Adattamento alle abilità e competenze dei lavoratori;
- Fattori psicologici.

L'ergonomia richiede un approccio olistico multidisciplinare e human-centered nel quale considerare fattori fisici, cognitivi, organizzativi, sociali e ambientali. Infatti, nell'interazione individuo-ambiente-prodotto l'ergonomia presenta diverse componenti: la componente fisico-dimensionale, funzionale, sensoriale-percettiva, cognitiva e culturale.

Tra le diverse aree di interesse, nella presente tesi sono state approfondite l'ergonomia fisica e quella cognitiva. [2]

### 1.4.1 ERGONOMIA FISICA

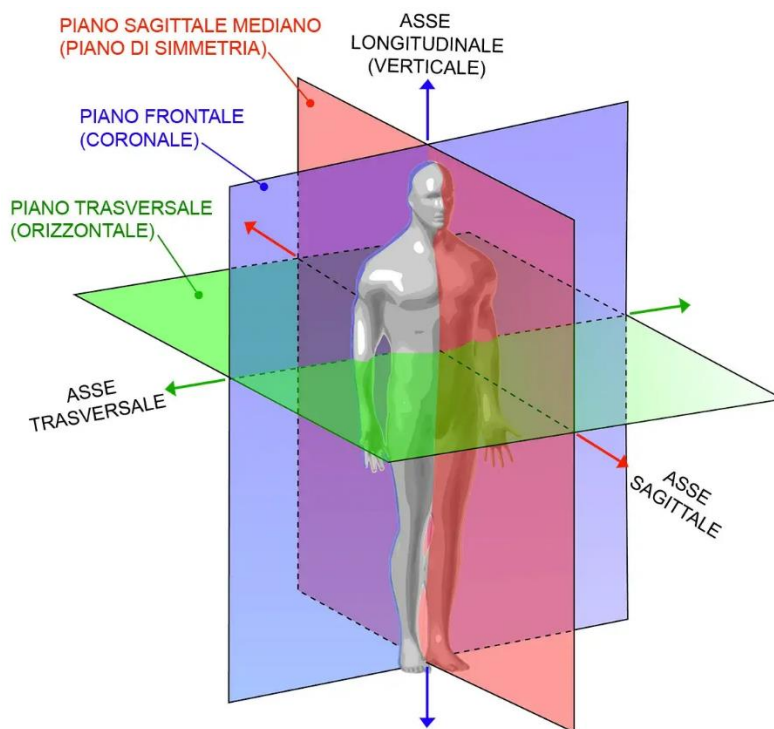
L'ergonomia fisica si occupa della interazione tra l'essere umano e le sollecitazioni che provengono dall'ambiente in cui agisce. Più in generale, studia come le caratteristiche anatomiche, antropometriche, biomeccaniche, e fisiologiche possano influire sul benessere e la prestazione degli esseri umani nell'ambiente fisico, sia esso naturale o costruito. Le principali aree di interesse includono:

- Posture;
- Sovraccarico biomeccanico;
- Movimentazione manuale dei carichi;
- Movimenti ripetitivi;
- Layout degli ambienti di lavoro.

L'ergonomia fisica abbraccia due delle componenti citate nel capitolo 1.4: quella fisico-dimensionale e quella funzionale. La prima riguarda il rapporto tra le dimensioni del corpo umano e le caratteristiche e le costrizioni dimensionali dell'ambiente fisico. Coinvolge le caratteristiche antropometriche del corpo umano e avviene ogni volta che l'individuo si muove all'interno di uno spazio stabilendo un rapporto di contatto e/o di compatibilità dimensionale. La seconda, invece, riguarda il rapporto tra le capacità fisiche dell'uomo, le caratteristiche funzionali dell'ambiente e le caratteristiche dei compiti fisici richiesti. Coinvolge le caratteristiche biomeccaniche del corpo umano, come postura, movimento e forza muscolare, durante l'attività fisica. Si verifica quando l'individuo valuta se la prestazione richiesta è in linea con le sue capacità fisiche e operative. Il termine Antropometria deriva da due parole greche: anthropos che significa "uomo" e metron che significa "misura". In altri termini, è la scienza che si occupa di misurare il corpo umano nella sua totalità, considerando:

- Dimensioni statiche: comprendono le dimensioni relative alla statura, alla circonferenza del cranio, alla lunghezza delle braccia, etc. misurate nelle posizioni statiche standard;
- Dimensioni dinamiche: comprendono le dimensioni del corpo umano in movimento, ossia gli involucri occupati nel corso dei movimenti necessari a svolgere una determinata attività e le zone di raggiungibilità consentite dal movimento del corpo umano.

La biomeccanica occupazionale, invece, riguarda la componente funzionale dell'ergonomia fisica ed è definita come lo studio del movimento degli esseri viventi utilizzando la scienza della meccanica. Non è possibile parlare di biomeccanica se non si conoscono i piani e gli assi di riferimento. La posizione di qualsiasi distretto del corpo umano viene definita facendo riferimento a tre piani e tre assi perpendicolari tra loro. I piani sono rappresentati da: piano frontale, piano sagittale e piano trasversale. Invece, gli assi di riferimento sono rappresentati da: asse verticale, asse sagittale e asse trasversale.



**Figura 23-Assi anatomici**

L'obiettivo della biomeccanica occupazionale è descrivere le modalità di esecuzione del compito e il carico muscoloscheletrico che si verifica durante il lavoro dal punto di vista quantitativo, allo scopo di individuare il livello di rischio associato a una determinata attività lavorativa. Il contributo della biomeccanica all'ergonomia fisica riguarda: la valutazione della correttezza della postura, l'accettabilità degli sforzi per l'azionamento dei comandi, l'accettabilità delle sollecitazioni e della fatica generata e la definizione di limiti di sicurezza. Nei luoghi di lavoro, l'ergonomia fisica si occupa della progettazione degli spazi, degli attrezzi e dei processi produttivi in funzione delle capacità specifiche dei lavoratori. In questo senso l'approccio ergonomico cerca di ottimizzare l'interazione tra uomo, macchina ed ambiente, intervenendo sull'organizzazione, razionalizzando i processi e lo spazio,

migliorando il sistema posturale e riducendo di conseguenza le condizioni di stress psico-fisico. Quindi, l'ergonomia fisica mira a creare sistemi che siano in armonia con le capacità fisiche e i limiti degli esseri umani. Ciò permette alle persone di lavorare in modo sicuro e confortevole, riducendo il rischio di infortuni e sovraccarichi fisici, migliorando al contempo efficienza, produttività e benessere complessivo. [2] [20] [21]

#### **1.4.1.1 METODI PER LA VALUTAZIONE DELL'ERGONOMIA FISICA**

Per la valutazione dell'ergonomia fisica si può ricorrere a due possibili approcci: metodi e strumenti tradizionali e metodi e strumenti avanzati. Il primo prevede la presenza di un ergonomo che:

- 1) osserva attentamente l'attività svolta dal lavoratore, focalizzandosi su ogni movimento;
- 2) effettua una stima soggettiva di angoli come quello di flessione ed estensione di diverse parti del corpo;
- 3) esegue la compilazione di una scheda di valutazione a seconda del tipo di analisi di ergonomia fisica;
- 4) calcola il livello di rischio associato all'attività svolta.

L'elevata soggettività del metodo rappresenta il limite principale.

Il secondo, invece, prevede l'introduzione di tecnologie avanzate:

- Sistemi inerziali: sistemi di motion capture dotati di sensori inerziali applicabili sulle parti principali del corpo, che raccolgono il movimento fornendo in output gli angoli articolari e la posizione della persona nello spazio. È presente anche un software per la calibrazione e l'analisi dei dati, sul quale è visibile l'omino digitale che riproduce i movimenti in tempo reale.
- Sistemi Vision-Based: sistemi di motion capture ottici che utilizzano telecamere 3D ad alta risoluzione e a diverse angolazioni per catturare i movimenti in tre dimensioni. Inoltre, sono dotati di algoritmi per il tracciamento dei keypoint e per il calcolo degli angoli articolari.



**Figura 24-Sistemi inerziali e sistemi Vision-Based**

Il principale vantaggio di queste tecnologie è il calcolo automatico degli angoli articolari, a differenza dei metodi tradizionali che prevedono l'osservazione e la stima attenta dell'ergonomo. Quest'ultimo è sempre presente per la compilazione di alcune informazioni che vengono inserite manualmente e per l'analisi ed interpretazione finale dei risultati. Infine, abbiamo la compilazione automatica della scheda di valutazione per il calcolo dell'indice di rischio associato all'attività. Tra gli altri vantaggi ci sono la valutazione oggettiva e la possibilità di effettuare un monitoraggio continuo.

A seconda del tipo di analisi di ergonomia fisica, si utilizzano le seguenti schede di valutazione:

- RULA, REBA, OCRA e MURI per le valutazioni posturali;
- NIOSH e SNOOK & CIRIELLO per la valutazione della movimentazione manuale dei carichi;
- BORG SCALE per la valutazione dello sforzo;
- GOLDEN ZONE e STRIKE ZONE per la valutazione del layout.

La normativa di riferimento è la UNI ISO 11228 che, tra i metodi sopra elencati, suggerisce il NIOSH, lo SNOOK & CIRIELLO e l'OCRA. Si compone di tre parti fondamentali:

- UNI ISO 11228-1, la quale specifica i limiti raccomandati per il sollevamento e il trasporto manuale;
- UNI ISO 11228-2, la quale specifica i limiti raccomandati per le azioni di spinta e traino;
- UNI ISO 11228-3, la quale stabilisce le raccomandazioni ergonomiche per compiti lavorativi ripetuti.

Inoltre, la normativa sopra citata, prima di procedere con la compilazione della scheda di valutazione, suggerisce la compilazione di Domande Chiave, pensate per stabilire se c'è pertinenza delle condizioni lavorative di base con le norme specifiche. Nel caso di pertinenza, l'utente viene indirizzato alla compilazione delle domande di Valutazione Rapida (o Quick Assesment), che mirano a identificare con l'utilizzo degli scenari predefiniti, la presenza di due condizioni di esposizione estreme:

- Assenza di rischio significativo o presenza di condizioni accettabili;
- Presenza di rischio significativo o presenza di condizioni inaccettabili.

Con la presenza di rischio accettabile, non sarà necessario procedere con altre valutazioni, invece nell'altro caso si procederà con la valutazione analitica. Il metodo OCRA valuta il sovraccarico biomeccanico degli arti superiori da attività ripetitive, tramite l'individuazione di valori numerici pre-assegnati (crescenti in funzione dell'aumentare del rischio) per ciascuno dei seguenti fattori di rischio:

- Periodi di recupero;
- Durata dell'attività lavorativa (nel turno giornaliero);
- Frequenza delle azioni svolte;
- Forza applicata;
- Assunzione di posture incongrue;
- Fattori complementari (microclima, utilizzo di strumentazione vibrante, DPI inadeguati, ecc.).

Il metodo NIOSH, invece, permette di valutare il rischio relativo alle azioni che comportano il sollevamento manuale dei carichi. Il calcolo dell'indice di sollevamento, a cui si associa un livello di rischio, prevede l'individuazione di un peso limite raccomandato, che rappresenta il peso massimo del carico che quasi tutti i lavoratori sani potrebbero sollevare per un periodo di tempo considerevole senza un aumento del rischio di sviluppare disturbi muscolo-scheletrici. Questo si calcola considerando fattori come il genere e l'età del lavoratore, la posizione dell'oggetto, l'angolo di asimmetria, la frequenza e durata dell'attività di sollevamento. Il metodo Snook & Ciriello, sempre nell'ambito della movimentazione manuale dei carichi, permette di valutare i rischi connessi alle operazioni di traino e spinta. Tra i fattori considerati ci sono: l'altezza delle maniglie o del punto di applicazione della forza, la distanza da percorrere, l'entità della forza impiegata.

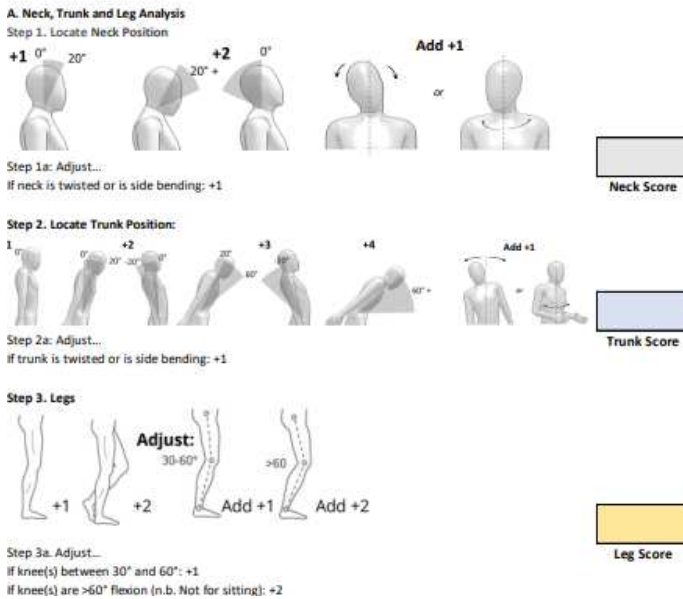
Per la valutazione posturale, oggetto della presente tesi, è stato adottato il metodo REBA che di seguito viene spiegato nel dettaglio. Il metodo REBA (Rapid Entire Body Assessment) è stato sviluppato per valutare l'esposizione dei lavoratori ai fattori di rischio che possono generare DMS nel corpo intero. Considera i requisiti di carico biomeccanico e posturali delle attività lavorative su collo, tronco, arti superiori e arti inferiori. Utilizza un approccio sistematico per valutare la postura, la forza e la ripetitività dei movimenti associate alla specifica mansione lavorativa oggetto di valutazione. Il REBA viene citato dalla normativa 11228-3 per un focus sull'aspetto posturale e prevede i seguenti step:

- 1) Osservazione generale dell'attività lavorativa e, se necessario, colloquio con l'operatore;
- 2) Selezione delle posture più critiche e delle attività lavorative più scomode;
- 3) Osservazione e registrazione video delle posture selezionate;
- 4) Analisi video, compilazione del modulo e calcolo dell'indice di rischio. La valutazione può essere eseguita sul lato sinistro, sul lato destro o su entrambi, a seconda delle esigenze.

È diviso in due sezioni principali: sezione A dedicata all'analisi di collo, tronco e gambe e sezione B dedicata all'analisi del braccio e del polso. La prima si articola nei seguenti step:

- Step 1 per il calcolo della posizione del collo;
- Step 2 per il calcolo della posizione del tronco;
- Step 3 per il calcolo della posizione delle gambe;
- Step 4 per il calcolo del punteggio postura nel Table A;
- Step 5 per il calcolo del punteggio relativo alla forza/carico;
- Step 6 per il calcolo dello score A.

## Step 1-3:



**Figura 25-Step 1-3 REBA**

Come si evince dall'immagine sovrastante, in base all'angolatura dell'arto si assegna un punteggio in ogni step. Le condizioni più sfavorevoli sono:

- Estensione all'indietro o flessione maggiore di 20° del collo;
- Flessione del tronco superiore a 60°;
- Flessione delle ginocchia.

Si aggiunge, eventualmente, un punteggio addizionale in presenza di condizioni particolari come collo e tronco in rotazione o piegati lateralmente, ginocchio flesso tra 30-60° o a 60°+. Dopo aver compilato gli step 1-3, si utilizzano i punteggi ottenuti per il calcolo del punteggio postura (Step4) tramite la loro intersezione sul Table A.

| Table A             | Neck |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---------------------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|                     |      | 1 |   |   |   | 2 |   |   |   | 3 |   |   |   |
|                     | Legs | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Trunk Posture Score | 1    | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 5 | 6 |
|                     | 2    | 2 | 3 | 4 | 5 | 3 | 4 | 5 | 6 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|                     | 3    | 2 | 4 | 5 | 6 | 4 | 5 | 6 | 7 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|                     | 4    | 3 | 5 | 6 | 7 | 5 | 6 | 7 | 8 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|                     | 5    | 4 | 6 | 7 | 8 | 6 | 7 | 8 | 9 | 7 | 8 | 9 | 9 |

**Figura 26-Table A REBA**

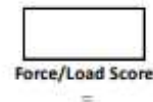
**Step 4. Look-up Posture Score in Table A:**  
Using values from steps 1-4 above, locate score in Table A.



### ***Figura 27-Step 4 REBA***

Step 5: Per quanto riguarda la forza/carico, si aggiunge un +1 se il carico è compreso tra 5 e 10 kg, un +2 se è maggiore di 10 kg. Inoltre, vi è un punteggio addizionale in caso di shock o rapido accumulo di forza. Se il carico, invece, è minore di 5 kg abbiamo un +0.

**Step 5. Add Force/Load Score**  
if load < 5 kg: +0  
if load 5 to 10 kg: +1  
if load > 10 kg: +2  
Adjust: if shock or rapid build up of force: add +1



### ***Figura 28-Step 5 REBA***

Successivamente, dopo aver compilato gli step 4-5, si sommano i punteggi ottenuti per il calcolo del punteggio Score A (Step6).

**Step 6. Score A, Find Row in Table C**  
Add values from steps 4 & 5 to obtain Score A  
Find row in Table C.



### ***Figura 29-Step 6 REBA***

Steps 7-8-9: Come si evince dall'immagine sottostante, in base all'angolatura dell'arto si assegna un punteggio in ogni step. Le condizioni più sfavorevoli sono:

- Flessione del braccio superiore a 90°;
- Flessione dell'avambraccio compreso tra 0-40° o superiore a 100°;
- Flessione del polso maggiore di 15° o maggiore di -15°.

In aggiunta vi è, eventualmente, un punteggio addizionale in presenza di condizioni particolari come spalla sollevata, braccio abdotto o supportato, polso in rotazione o piegato rispetto alla linea mediana.

**B. Arm and Wrist Analysis**

**Step 7. Locate Upper Arm Position**

Step 7a: Adjust...  
 If shoulder is raised: +1  
 If upper arm is abducted: +1  
 If arm is supported or person is leaning: -1

Left  Right   
 Upper Arm Score

**Step 8. Locate Lower Arm Position:**

Left  Right   
 Lower Arm Score

**Step 9. Locate Wrist Position:**

Left  Right   
 Wrist Score

**Figura 30-Step 7-8-9 REBA**

Dopo aver compilato gli step 7-8-9, si utilizzano i punteggi ottenuti per il calcolo del punteggio postura (Step10) tramite la loro intersezione sul Table B.

| Table B         | Lower Arm |   |   |   |   |   |   |
|-----------------|-----------|---|---|---|---|---|---|
|                 | Wrist     | 1 |   |   | 2 |   |   |
| Upper Arm Score | 1         | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 |
|                 | 2         | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 4 |
|                 | 3         | 3 | 4 | 5 | 4 | 5 | 5 |
|                 | 4         | 4 | 5 | 5 | 5 | 6 | 7 |
|                 | 5         | 6 | 7 | 8 | 7 | 8 | 8 |
|                 | 6         | 7 | 8 | 8 | 8 | 9 | 9 |

**Figura 31-Table B REBA**

**Step 10. Look-up Posture Score in Table B:**

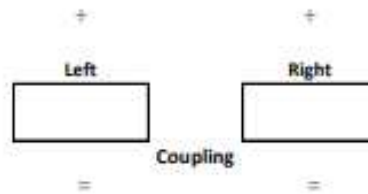
Using values from steps 7-9 above, locate score in Table B

Left  Right   
 Posture Score B

**Figura 32-Step 10 REBA**

Step 11: Per quanto riguarda la presa, si aggiunge un +0 se è buona, un +1 se è discreta, un +2 se è scarsa e un +3 se è inaccettabile.

**Step 11. Add Coupling Score**  
 Well-fitting handle and mid-range power grip, **Good: +0**  
 Hand hold acceptable but not ideal, or coupling acceptable via another part of the body, **Fair: +1**  
 Hand hold not acceptable but possible, **Poor: +2**  
 Awkward, unsafe grip, no handles. Coupling unacceptable with any body part, **Unacceptable: +3**



**Figura 33-Step 11 REBA**

Successivamente, dopo aver compilato gli step 10-11, si sommano i punteggi ottenuti per il calcolo del punteggio Score B (Step12).

**Step 12. Score B, Find Column in Table C**  
 Add values from steps 10&11 to obtain Score B.  
 Find column in Table C and match with Score A  
 in row from step 6 to obtain Table C Score



**Figura 34-Step 12 REBA**

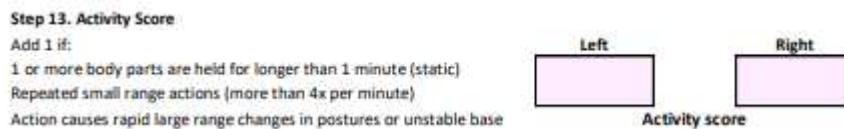
Dopodiché si individua sul Table C il punteggio all'intersezione tra lo Score A e lo Score B.

| Score A. | Table C |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|          | Score B |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|          | 1       | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |
| 1        | 1       | 1  | 1  | 2  | 3  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 7  | 7  |
| 2        | 1       | 2  | 2  | 3  | 4  | 4  | 5  | 6  | 6  | 7  | 7  | 8  |
| 3        | 2       | 3  | 3  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 7  | 8  | 8  | 8  |
| 4        | 3       | 4  | 4  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 8  | 9  | 9  | 9  |
| 5        | 4       | 4  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 8  | 9  | 9  | 9  | 9  |
| 6        | 6       | 6  | 6  | 7  | 8  | 8  | 9  | 9  | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 7        | 7       | 7  | 7  | 8  | 9  | 9  | 9  | 10 | 10 | 11 | 11 | 11 |
| 8        | 8       | 8  | 8  | 9  | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 11 | 11 | 11 |
| 9        | 9       | 9  | 9  | 10 | 10 | 10 | 11 | 11 | 11 | 12 | 12 | 12 |
| 10       | 10      | 10 | 10 | 11 | 11 | 11 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 11       | 11      | 11 | 11 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 12       | 12      | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |

**Figura 35-Table C REBA**

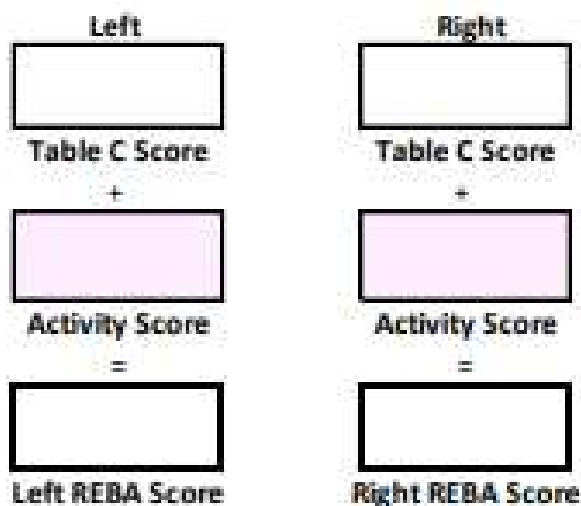
Per quanto riguarda, invece, il punteggio attività, si aggiunge +1 nel caso si verificano i seguenti casi:

- Una o più parti del corpo sono tenute per più di 1 minuto (statico);
- Azioni ripetute a piccolo raggio (più di 4 volte al minuto);
- L'azione provoca rapidi cambiamenti di postura ad ampio raggio o base instabile.



**Figura 36-Step 13 REBA**

Infine, si ottiene il punteggio finale REBA sommando il punteggio individuato sul Table C con il punteggio attività.



**Figura 37-Punteggio REBA finale**

Una volta calcolato il punteggio REBA, ad esso viene associato un livello di rischio come segue:

- 1: Rischio accettabile;
- 2-3: Rischio basso;
- 4-7: Rischio medio;
- 8-10: Rischio alto;
- 11+: Rischio veramente alto. [2]

## 1.4.2 ERGONOMIA COGNITIVA

L'ergonomia cognitiva si occupa dei processi cognitivi e mentali che regolano l'attività umana nell'interazione con l'ambiente e i sistemi, concentrandosi in particolare sull'interazione tra l'essere umano e gli strumenti dell'informazione. Analizza le capacità intellettive quali il linguaggio, la percezione, la memoria, il ragionamento e la risposta sensoriale e motoria in relazione agli stimoli provenienti dall'ambiente in cui opera.

Le principali aree di interesse includono:

- Carico mentale;
- Stress;
- Decision-making;
- Human-Computer Interaction;
- Skills & Performance.

Il primo si riferisce all'impegno cognitivo richiesto per completare un'attività in un periodo di tempo finito. Un carico mentale eccessivo può portare a inefficienze ed errori. La gestione del carico mentale è fondamentale per ottimizzare le performance e garantire il benessere, attraverso l'uso di interfacce intuitive e la semplificazione delle attività. Il secondo rappresenta una risposta psicologica e fisiologica a stimoli percepiti come minacciosi o eccessivi. È essenziale gestire lo stress per promuovere la salute e il benessere dei lavoratori. L'ergonomia cognitiva abbraccia due componenti citate al capitolo 1.4:

- La componente sensoriale-percettiva che riguarda la registrazione e l'elaborazione degli stimoli sensoriali (acustici, tattili, visivi, ecc.), e come questi influiscono sul benessere o disagio dell'individuo;
- La componente cognitiva che, invece, si focalizza sull'elaborazione e l'interpretazione delle informazioni, e sull'uso dell'esperienza e dei modelli interpretativi per prendere decisioni e comprendere il mondo esterno.

L'ergonomia cognitiva, quindi, è la disciplina che rende l'interazione uomo-sistema compatibile con le capacità e le limitazioni cognitive umane, in particolare sul lavoro. L'obiettivo pratico è quello di progettare sistemi, strumenti e ambienti di lavoro che migliorino le funzioni cognitive e le prestazioni umane sul lavoro e, di conseguenza, aumentino la produttività, la sicurezza e la salute sul lavoro. Le funzioni cognitive, come già detto, hanno i loro limiti: in molti casi, gli esseri umani hanno una capacità limitata di percepire, imparare, memorizzare, prendere decisioni, risolvere problemi e comunicare. D'altro canto, la capacità

degli esseri umani di adattarsi per svolgere compiti diversi è eccezionale. Per cui, quando si progettano le condizioni di lavoro, è necessario creare un compromesso tra competenze e limitazioni: le persone sono in grado di superare molte limitazioni cognitive attraverso l'apprendimento, ma ciò richiede tempo e i risultati dipendono da motivazione, attenzione, stress, monotonia e complessità dei compiti. L'ergonomia cognitiva è fondamentale oggi a causa del costante progresso della tecnologia e della crescente complessità dei sistemi e dei prodotti con cui l'essere umano interagisce. In un mondo sempre più digitalizzato, è essenziale garantire che le interfacce e gli ambienti di lavoro siano intuitivi, efficienti e adattabili alle esigenze e alle capacità umane. Una progettazione, che non tiene conto del lato cognitivo, può portare a errori, frustrazione, affaticamento mentale e riduzione delle prestazioni. Inoltre, per garantire una progettazione ergonomica e centrata sull'utente, è importante integrare i principi dell'ergonomia cognitiva fin dalle fasi iniziali di sviluppo di un sistema o prodotto, coinvolgendo gli utenti nel processo di progettazione e conducendo test e valutazioni periodiche. [2] [22] [23]

#### **1.4.2.1 METODI PER LA VALUTAZIONE DELL'ERGONOMIA COGNITIVA**

Per la valutazione dell'ergonomia cognitiva esistono metodi soggettivi basati su questionari che vengono fatti compilare direttamente dall'operatore. Tra questi ci sono:

- WORKLOAD PROFILE (WP);
- SWAT (Subjective Workload Assessment Technique);
- NASA TLX;
- STAI TRATTO E STAI DI STATO;
- STRESS LEVEL PERCEIVED.

Il WP e lo SWAT sono metodi per la valutazione del carico di lavoro mentale percepito dall'operatore. Il primo suddivide il carico mentale in otto dimensioni, che rappresentano i principali fattori che influenzano lo sforzo cognitivo e mentale durante l'esecuzione di compiti. Il secondo, invece, considera tre dimensioni: tempo, sforzo mentale e stress psicologico. I punteggi raccolti vengono utilizzati per creare un profilo del carico di lavoro mentale, che mostra come ciascuna dimensione contribuisce allo sforzo mentale complessivo. Gli altri metodi di valutazione, sopra citati, sono stati utilizzati come oggetti di raccolta dati nella presente tesi e vengono descritti dettagliatamente nel seguito.

Il questionario NASA TLX permette di avere una descrizione del carico di lavoro eseguito dal lavoratore, sulla base dei seguenti fattori di valutazione:

- Richiesta mentale: attività mentale e percettiva richiesta (ad es. pensare, decidere, calcolare, ricordare, cercare);
- Richiesta fisica: impegno fisico richiesto (ad es. spingere, tirare, girare);
- Richiesta temporale: pressione temporale, ritmo di lavoro;
- Prestazione: efficacia nel raggiungimento degli obiettivi e soddisfazione;
- Sforzo: impegno mentale e fisico per raggiungere l'obiettivo;
- Frustrazione: insicurezza, scoraggiamento, irritazione, stress, fastidio.

L'interessato è portato a scegliere per 15 coppie di fattori, quello che ritiene più rilevante per descrivere il lavoro compiuto e contrassegnarlo con una crocetta, come si può vedere nell'immagine sottostante:

| Data e ora  | ID                       | Task                |                          |
|---|--------------------------|---------------------|--------------------------|
| QUESTIONARIO NASA-TLX   |                          |                     |                          |
| Per ognuna delle 15 coppie elencate sotto, scegli tra i due fattori quello che ritieni più rilevante per descrivere il carico di lavoro e contrassegnalo con una crocetta |                          |                     |                          |
| <i>Richiesta mentale: attività mentale e percettiva richiesta (ad es. pensare, decidere, calcolare, ricordare, cercare)</i>   |                          |                     |                          |
| <i>Richiesta fisica: impegno fisico richiesto (ad es. spingere, tirare, girare, controllare, attivare)</i>  |                          |                     |                          |
| <i>Richiesta temporale: pressione temporale, ritmo di lavoro</i>  |                          |                     |                          |
| <i>Prestazione: efficacia nel raggiungimento degli obiettivi e soddisfazione</i>  |                          |                     |                          |
| <i>Sforzo: impegno mentale e fisico per raggiungere l'obiettivo</i>   |                          |                     |                          |
| <i>Frustrazione: insicurezza, scoraggiamento, irritazione, stress, fastidio</i>   |                          |                     |                          |
| Richiesta Mentale   | <input type="checkbox"/> | Richiesta Fisica    | <input type="checkbox"/> |
| Richiesta Fisica  | <input type="checkbox"/> | Frustrazione        | <input type="checkbox"/> |
| Richiesta Mentale   | <input type="checkbox"/> | Richiesta Temporale | <input type="checkbox"/> |
| Richiesta Temporale   | <input type="checkbox"/> | Prestazione         | <input type="checkbox"/> |
| Richiesta Mentale   | <input type="checkbox"/> | Richiesta Temporale | <input type="checkbox"/> |
| Prestazione   | <input type="checkbox"/> | Frustrazione        | <input type="checkbox"/> |
| Richiesta Mentale   | <input type="checkbox"/> | Richiesta Temporale | <input type="checkbox"/> |
| Sforzo  | <input type="checkbox"/> | Sforzo              | <input type="checkbox"/> |
| Richiesta Mentale   | <input type="checkbox"/> | Prestazione         | <input type="checkbox"/> |
| Frustrazione  | <input type="checkbox"/> | Frustrazione        | <input type="checkbox"/> |
| Richiesta Fisica  | <input type="checkbox"/> | Prestazione         | <input type="checkbox"/> |
| Richiesta Temporale   | <input type="checkbox"/> | Sforzo              | <input type="checkbox"/> |
| Richiesta Fisica  | <input type="checkbox"/> | Frustrazione        | <input type="checkbox"/> |
| Prestazione   | <input type="checkbox"/> | Sforzo              | <input type="checkbox"/> |
| Richiesta Fisica  | <input type="checkbox"/> | Frustrazione        | <input type="checkbox"/> |
| Sforzo  | <input type="checkbox"/> | Sforzo              | <input type="checkbox"/> |

**Figura 38-Questionario NASA-TLX parte 1**

Successivamente, per ognuno dei fattori di valutazione sopra citati, deve attribuire un punteggio da 0 (basso/poco) a 100 (alto/tanto), in base al carico di lavoro effettuato.

Rispondi alle seguenti domande indicando un punteggio da 0 (basso/poco) a 100 (alto/tanto).

| Domanda  | Punteggio |
|--|-----------|
| Richiesta mentale. Da 0 a 100, quanta attività mentale e percettiva è stata richiesta (ad es. pensare, decidere, calcolare, ricordare, cercare ecc.) dal tuo lavoro? |           |
| Richiesta fisica. Da 0 a 100, quanto impegno fisico è stato richiesto (es. spingere, tirare, girare, controllare, attivare ecc.) dal tuo lavoro?                     |           |
| Richiesta temporale. Da 0 a 100, quanta pressione temporale hai avvertito o quanto era frenetico il ritmo di lavoro?   |           |
| Prestazione. Da 0 a 100, quanto sei stato efficace nel raggiungere gli obiettivi richiesti e quanto ne sei soddisfatto?  |           |
| Sforzo. Da 0 a 100, quanto duramente ti sei dovuto impegnare (mentalmente e fisicamente) per raggiungere il tuo livello di prestazione?                              |           |
| Frustrazione. Da 0 a 100, nello svolgere il tuo lavoro, quanto ti sei sentito insicuro, scoraggiato, irritato, stressato e infastidito?                              |           |

**Figura 39-Questionario NASA-TLX parte 2**

Da qui, tramite opportune formule, si effettua il calcolo del punteggio NASA TLX, a cui è associato un livello descrivente il carico, come si vede dalla legenda qualitativa sotto riportata:

| NASA TLX |           |
|----------|-----------|
| < 41     | Low       |
| 41 ÷ 60  | Moderate  |
| 61 ÷ 80  | High      |
| ≥ 81     | Very high |

**Figura 40-Legenda qualitativa NASA-TLX**

Il questionario STAI TRATTO permette di avere una descrizione di come l'operatore si sente abitualmente. Fornisce una fotografia dell'interessato e questo è un elemento chiave, in quanto permette di avere un quadro sulla personalità della persona. Per uno studio di ergonomia cognitiva è fondamentale conoscere il lato emotivo della persona, in modo da avere una visione più completa e profonda in fase di analisi dei risultati. Il questionario è costituito da una serie di frasi che le persone spesso usano per descriversi, alle quali bisogna rispondere mettendo una crocetta su una scala di punteggi da 1 a 4. Quest'ultima prevede la seguente assegnazione:

- 1 = per nulla;
- 2 = un po';
- 3 = abbastanza;
- 4 = moltissimo.

È consigliato invitare l'operatore a non impiegare troppo tempo per rispondere alle domande, anche perché non ci sono risposte giuste o sbagliate.

| Data e ora  |           |        |            |            |
|---|-----------|--------|------------|------------|
|   |           |        |            |            |
| ID  |           |        |            |            |
|   |           |        |            |            |
| QUESTIONARIO STAI-Y1 (TRATTO)   |           |        |            |            |
| Sono qui di seguito riportate alcune frasi che le persone spesso usano per descriversi. Leggi ciascuna frase e poi contrassegna con una crocetta il numero che indica come ti senti abitualmente. Non ci sono risposte giuste o sbagliate. Non impiegare troppo tempo per rispondere alle domande e dai la risposta che ti sembra descrivere meglio come ti senti abitualmente. |           |        |            |            |
|   | 1         | 2      | 3          | 4          |
|   | per nulla | un po' | abbastanza | moltissimo |
| Mi sento bene   |           |        |            |            |
| Mi sento teso e irrequieto  |           |        |            |            |
| Sono soddisfatto di me stesso   |           |        |            |            |
| Vorrei poter essere felice come sembrano essere gli altri   |           |        |            |            |
| Mi sento un fallito   |           |        |            |            |
| Mi sento riposato   |           |        |            |            |
| Io sono calmo, tranquillo e padrone di me   |           |        |            |            |
| Sento che le difficoltà si accumulano tanto da non poterle superare   |           |        |            |            |
| Mi preoccupo troppo di cose che in realtà non hanno importanza  |           |        |            |            |
| Sono felice   |           |        |            |            |
| Mi vengono pensieri negativi  |           |        |            |            |
| Manco di fiducia in me stesso   |           |        |            |            |
| Mi sento sicuro   |           |        |            |            |
| Prendo decisioni facilmente   |           |        |            |            |
| Mi sento inadeguato   |           |        |            |            |
| Sono contento   |           |        |            |            |
| Pensieri di scarsa importanza mi passano per la mente e mi infastidiscono   |           |        |            |            |
| Vivo le delusioni con tanta partecipazione da non poter togliermele dalla testa   |           |        |            |            |
| Sono una persona costante   |           |        |            |            |
| Divento teso e turbato quando penso alle mie attuali preoccupazioni   |           |        |            |            |

**Figura 41-Questionario STAI TRATTO**

Successivamente, tramite un'opportuna formula, si calcola il punteggio STAI TRATTO, al quale è associato un livello di propensione all'ansia, uno degli aspetti che può caratterizzare lo stress.

| STAI TRATTO |                   |
|-------------|-------------------|
| < 38        | No or low anxiety |
| 38 ÷ 44     | Moderate anxiety  |
| ≥ 45        | High anxiety      |

**Figura 42-Legenda qualitativa STAI TRATTO**

Il questionario STAI STATO, invece, permette di avere una descrizione degli attuali stati d'animo della persona in analisi. È un ritratto istantaneo dell'operatore e anche in questo caso non ci sono risposte giuste o sbagliate, per cui l'interessato è invitato a rispondere senza impiegare troppo tempo.

Il questionario, inoltre, è costituito da sei domande a cui è possibile rispondere in quattro possibili modi:

- Per nulla;
- Un po';
- Abbastanza;
- Moltissimo.

Qui di sotto sono riportate le domande del questionario:

The image shows a screenshot of the STAI DI STATO questionnaire. It consists of six items arranged in two columns. Each item has four radio button options: 'Per nulla', 'Un po'', 'Abbastanza', and 'Moltissimo'. The items are:

- Left column:
  - Mi sento calmo \*
  - Sono rilassato \*
  - Mi sento contento \*
- Right column:
  - Sono teso \*
  - Mi sento turbato \*
  - Sono preoccupato \*

**Figura 43-Questionario STAI DI STATO**

Utilizzando la stessa procedura di calcolo del punteggio per lo STAI-TRATTO e la medesima legenda qualitativa, si può ottenere e descrivere anche il punteggio dello STAI DI STATO. Infine, lo STRESS LEVEL PERCEIVED permette di avere un'indicazione del livello di stress percepito dall'operatore su una scala da 1 a 10. Tale scala, in maniera qualitativa, può essere suddivisa nel seguente modo:

- Punteggio 1-3 = LIVELLO DI STRESS BASSO;
- Punteggio 4-5 = LIVELLO DI STRESS MEDIO-BASSO;
- Punteggio 6-7 = LIVELLO DI STRESS MEDIO-ALTO;
- Punteggio 8-10 = LIVELLO DI STRESS ALTO.

Quindi, per quanto riguarda la valutazione dello stress e del carico mentale, attualmente si utilizzano diversi questionari, tra cui quelli sopra descritti, che portano con sé diversi limiti: il carattere qualitativo e soggettivo del livello di stress raccolto e l'analisi limitata nel tempo. Per superare questa barriera, e qui si concentra il cuore della presente tesi, la ricerca sta studiando per l'individuazione di metodi più oggettivi e autentici. A tal proposito, è nata l'idea, come per l'ergonomia fisica, di sensorizzare l'uomo attraverso dei dispositivi tecnologicamente avanzati capaci di raccogliere in tempo reale i principali parametri vitali. Tra questi, in commercio, ci sono i cosiddetti dispositivi indossabili come smartwatch, fasce toraciche, occhiali smart, fitness tracker, cerotti e t-shirt intelligenti capaci di misurare il battito cardiaco, la frequenza respiratoria, la percentuale di ossigeno nel sangue, la qualità del sonno ecc.



***Figura 44-Dispositivi indossabili di raccolta dei parametri vitali***

La scienza, inoltre, ha dimostrato che lo stress può essere correlato principalmente a due aspetti del corpo: la sudorazione eccessiva della pelle e il battito cardiaco accelerato. A supporto di queste tecnologie, la ricerca sta studiando la progettazione di algoritmi di machine learning capaci, una volta ben addestrati, di elaborare i dati raccolti e fornire possibili informazioni sullo stress. Da qui si avrebbero delle indicazioni più oggettive utilizzabili per migliorare il benessere della persona mediante la rimodulazione del carico di lavoro e l'indicazione di possibili problemi di salute imminenti. Ciò nonostante, è presente un ulteriore grande limite: secondo diversi studi, lo stress realmente percepito dall'essere umano è diverso da quello che la sensoristica è capace di rilevare. È per questo motivo che si mantiene una complementarità tra i questionari soggettivi e gli strumenti avanzati di raccolta dati. È importante, però, sottolineare che, anche per l'operatore stesso, c'è la difficoltà di percepire il livello di stress che ha in un determinato momento. La ricerca, quindi, si sta impegnando a fronteggiare questa enorme sfida attuale, dove risulta veramente complesso l'identificazione della reale presenza di una condizione di stress in una persona. Quanto appena detto per la valutazione dello stress e del carico mentale, non interessa la

valutazione posturale e del sovraccarico biomeccanico, dove la sensorizzazione dell'uomo permette di conoscere univocamente quelli che sono i rischi associati all'attività e intervenire per migliorare il benessere della persona. [2] [24] [25] [26]

## **2. L'ERGONOMIA IN ARSTECH**

Lo studio sull'ergonomia, oggetto della presente tesi, è stato svolto nella realtà lavorativa di ARSTECH, in collaborazione con il gruppo di ricerca dell'Università Politecnica Delle Marche. L'obiettivo, nell'ambito dell'ergonomia cognitiva, è quello di comprendere se c'è una reale corrispondenza tra l'attività lavorativa e la variazione dei parametri vitali, in modo da poter avere informazioni sul livello di stress e così migliorare, in futuro, il benessere delle persone e l'efficienza del lavoro. La sfida, come evidenziato nel capitolo precedente, è piuttosto complessa, poiché è difficile individuare una corrispondenza concreta tra una condizione di stress e l'attività svolta. La fine del progetto di ricerca è stimata per l'anno 2025, per cui nella presente tesi verrà trattata soltanto la prima parte relativa alla raccolta dei dati e alla somministrazione dei questionari. Nel frattempo, si stanno progettando algoritmi di machine learning che elaboreranno i dati raccolti e forniranno i primi risultati. Nell'ambito dell'ergonomia fisica, invece, su richiesta dell'azienda stessa, è stata condotta un'analisi di valutazione delle posture all'interno di un reparto specifico, con l'obiettivo di avere un'indicazione dell'indice di rischio dell'attività, per poi ottimizzarla.

### **2.1 L'AZIENDA**

L'ARSTECH è un'azienda manifatturiera specializzata nella produzione di componenti strutturali in fibra di carbonio ed è il fornitore di riferimento per il top del motorsport e delle auto stradali ad altissime prestazioni come hypercar e supercar. La produzione è totalmente realizzata nella sede di Controguerra (TE) ed è supportata da una incessante attività di R&D che la pone all'avanguardia tecnologica e ne fa un centro di eccellenza mondiale. ARS è l'acronimo di Advances Reinforced Structures, ma il nome incorpora una ricca gamma di significati latini come arte, artigianato, tecnica, abilità e scienza, sottolineando la fusione di artigianato tradizionale e tecnologie avanzate di processo. La visione è quella di introdurre un nuovo paradigma che spinga la produzione di materiali compositi ad un livello superiore dell'industria automobilistica. ARSTECH abbraccia questa vocazione industriale sviluppando e producendo telai ed elementi di carrozzeria in fibra di carbonio, dedicandosi esclusivamente al settore Automotive-Motorsport, lì dove le prestazioni sono essenziali. L'azienda affonda le sue radici nella pluriennale esperienza di professionisti che hanno scritto la storia dei materiali compositi e, guardando costantemente al futuro, capitalizza il

know-how acquisito negli anni per creare un polo produttivo all'avanguardia. Nonostante la sua vocazione internazionale, testimoniata da collaborazioni con case automobilistiche di tutto il mondo, ARSTECH mantiene un solido legame con il territorio, valore fondante della sua storia. Un esempio concreto di questo impegno verso la comunità locale è un importante progetto finanziato nel 2021: la riqualificazione della rotatoria di Controguerra, all'interno della quale è stata collocata una replica in scala 1:1 della Aspark Owl, una hypercar i cui componenti sono stati integralmente prodotti internamente. Questa iniziativa dimostra l'interesse dell'azienda per la crescita e la valorizzazione del territorio in cui opera. ARSTECH dispone di quattro stabilimenti interconnessi, di reparti dedicati all'ingegneria, alla R&D e ai materiali ed è costantemente impegnata a superare sé stessa, ideando continuamente nuovi processi produttivi efficienti ed ecologicamente sostenibili. Questo approccio è supportato da programmi di ricerca e sviluppo, dall'introduzione di innovazioni tecnologiche e da piani di espansione della capacità produttiva. Inoltre, si è dotata di un sistema di gestione della Qualità, conforme alla NORMA UNI EN ISO 9001:2015, il cui progetto ha avuto inizio nel 2016, anno in cui l'azienda ha conseguito la certificazione ISO 9001, ricevendo così l'attestazione ufficiale del proprio sistema di qualità aziendale. Per essere sempre pronta a soddisfare le richieste del mercato e garantire prodotti all'altezza delle aspettative dei clienti, ARS TECH dispone di un elevato numero di impianti, macchinari e attrezzature tecnologicamente avanzati.

La passione per la leggerezza è la forza trainante del gruppo ARS TECH. In area tecnica ingegneri, specializzati nella progettazione di componenti e attrezzature, disegnatori meccanici, programmatori di macchine CNC e project manager sono impegnati a garantire che ogni progetto venga realizzato con la massima puntualità, precisione e professionalità. Con un project manager dedicato a ciascun progetto, la sfida di ogni cliente diventa anche la sfida di ARSTECH, assicurando un impegno totale nel raggiungimento degli obiettivi definiti. [1]



*Figura 45-Azienda ARS TECH*

### **2.1.1 HYPERSYSTEM: UN SISTEMA DI PRODUZIONE “ALL IN ONE”**

ARS TECH ha sviluppato un sistema integrato unico nel suo genere: Hypersystem. Un circuito produttivo 100% in-house: dalla progettazione alla produzione, fino all'ispezione e al collaudo finale. Con Hypersystem, ARS TECH innalza il concetto di stato dell'arte della tecnologia del composito, con il risultato di componenti sempre più leggeri, prestazionali e sicuri. Soluzioni produttive proprietarie e un processo integrato hanno come conseguenza un time-to-market senza precedenti. ARS TECH è dotata di tutti gli anelli che compongono la catena produttiva dei componenti in fibra di carbonio, dalla caratterizzazione dei materiali alla costruzione degli stampi, dalla produzione dei componenti ai test di omologazione, senza lavorazioni in outsourcing o delocalizzazioni. In questo modo è possibile garantire sia il processo che il prodotto finito, sia che si tratti di un pezzo unico che di una vettura di serie.

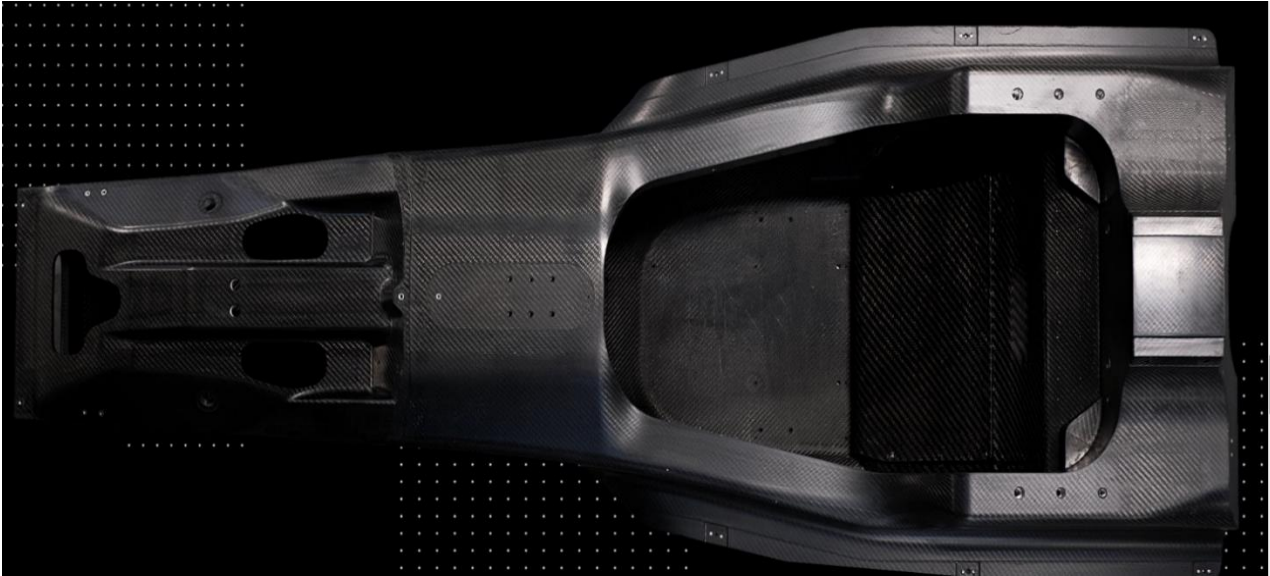
La forza produttiva di ARS TECH è data dal suo Hypersystem, costituito da dodici aree operative per un circuito produttivo al 100% in-house:

- 1) Materia Prima: Stoccaggio dei rotoli in fibra di carbonio preimpregnati in celle frigorifero (-18 C°);
- 2) Disegno meccanico: Disegno e ingegnerizzazione dei modelli e degli stampi mediante software di modellazione CAD 3D;
- 3) Modellazione: Realizzazione del modello, necessario alla produzione degli stampi, mediante l'utilizzo di macchine fresatrici CNC a 3 e 5 assi;

- 4) Taglio: Sviluppo delle dime, taglio delle pelli di fibra di carbonio e dei riempitivi con plotter industriali, preparazione dei kit di laminazione;
- 5) LTM: Creazione degli stampi attraverso l'applicazione delle dime in fibra di carbonio sui modelli e cicli di cura in autoclave;
- 6) Laminazione: Laminazione manuale dei materiali all'interno di clean room per la massima aderenza allo stampo;
- 7) Polimerizzazione: Polimerizzazione della resina epossidica attraverso cicli di cura in autoclave, ad alta temperatura e pressione;
- 8) Estrazione e Finitura: Estrazione del componente dallo stampo e rifinitura manuale dello stesso;
- 9) Lavorazioni meccaniche: Completamento del pezzo mediante lavorazioni meccaniche CNC;
- 10) Delibera: Analisi sul componente con controlli visivi, con tecnologie laser e termiche, per escludere difetti estetici e strutturali;
- 11) Omologazione: Test omologativi dei telai mediante testing e prove d'urto;
- 12) Fase X: segreto industriale. [1]

### **2.1.2 THE ULTRA LIGHT UNIBODY CHASSIS**

ARS TECH è la prima azienda al mondo ad offrire un telaio monoscocca in fibra di carbonio a struttura continua con tecnologia innovativa brevettata. Questo significa zero giunzioni e/o incollaggi, un telaio robusto che conferisce leggerezza alla vettura e la massima sicurezza per il pilota. L'idea nasce da un progetto di ricerca e sviluppo dal titolo «ONE SHOT CURE», attraverso il quale il telaio, preventivamente scomposto in vari sotto-componenti realizzati con tecnologie e materiali diversi, viene opportunamente assemblato e realizzato utilizzando un solo procedimento di stampaggio in autoclave, comportando quindi una maggiore semplicità di produzione, una riduzione dei tempi di fabbricazione ed una maggiore economicità, ottenendo un telaio praticamente finito, pronto per il montaggio della vettura. Il processo nel suo complesso è un processo al minimo impiego di manodopera, affidabile e ripetibile, che genera un prodotto con livelli prestazionali e di affidabilità superiori rispetto a quelli realizzati con sistemi tradizionali di giunzione di componenti in materiale composito. L'innovazione tecnologica portata avanti nel progetto realizza un'innovativa tecnica di giunzione a caldo dei componenti e sottocomponenti in materiale composito superando i limiti di adesione delle tecniche di assemblaggio tradizionali (incollaggio a freddo o utilizzo di rivetti e fermi meccanici). [1]



*Figura 46-Telaio Monoscocca*

### **2.1.3 RESEARCH AND DEVELOPMENT: IL CUORE DI ARSTECH**

Ricerca e Sviluppo è il cuore di ARS TECH; da qui nascono le innovazioni più importanti, che conferiscono all'azienda una posizione leader nel mondo dei compositi per le auto. I successi ottenuti finora da R&D, insieme alle tecnologie innovative sviluppate, consentono di combinare alte prestazioni, efficienza, produttività e controllo della qualità del prodotto. Il team di Ricerca e Sviluppo (R&D) è composto da un gruppo altamente specializzato di ingegneri con expertise in materiali compositi, chimici e mecatronici. Questi professionisti utilizzano strumentazioni altamente sofisticate per sviluppare processi e materiali ottimali. Il loro impegno costante è finalizzato a spingere le prestazioni dell'azienda ai vertici del settore. Inoltre, ARS TECH coltiva collaborazioni con università italiane e straniere per arricchire ulteriormente le proprie attività di ricerca e sviluppo, mantenendo così un approccio all'avanguardia nella ricerca dell'innovazione. La qualità è la base dell'intero processo produttivo di ARS TECH, ed è per questo che viene attuato un rigoroso piano di controllo in ogni fase della creazione del prodotto: dall'approvvigionamento dei materiali, all'attrezzaggio, al rilascio del prodotto finale attraverso i test di omologazione. Inoltre, tutti i componenti strutturali sono controllati al 100% sia durante la lavorazione che durante l'ispezione finale, utilizzando una DEA CMM (Coordinate Measuring Machine) per garantire una precisione assoluta. ARS TECH ha sempre dimostrato una forte propensione alla ricerca e sviluppo (R&D) finalizzata all'innovazione di processo; questo impegno le ha permesso di accedere a finanziamenti pubblici ed europei, che hanno avuto un impatto significativo sulla sua crescita e sviluppo organizzativo.

Grazie a queste risorse, ARS TECH ha implementato soluzioni all'avanguardia per l'ottimizzazione dei processi e lo sviluppo dell'economia circolare, a vantaggio della competitività aziendale e della sostenibilità ambientale:

- Materiali alleggeriti per ridurre l'impatto sull'ambiente;
- Produzione di telai e componenti per vetture elettriche (Formula E);
- Compositi biocompatibili derivati da fibre naturali (lino, canapa);
- Sistema di lavaggio dei componenti con detergenti green, senza solventi;
- Filtraggio e trattamento dell'aria ad ultravioletti negli ambienti di lavoro;
- Filtraggio delle polveri per stabilizzare l'aria e ridurre la dispersione di virus;
- Sistema fotovoltaico per la produzione di energia elettrica rinnovabile.

La società è impegnata nella continuazione del suo processo di penetrazione commerciale e nella realizzazione del cospicuo programma d'investimenti iniziato nei precedenti esercizi ed in continua fase di implementazione. ARS TECH è una realtà ad elevato know-how interno, dove le persone fanno la differenza e sono al centro della strategia aziendale. L'azienda ha già attuato numerose iniziative di welfare, per valorizzare il proprio capitale umano e garantirne il suo benessere [1]

## **2.2 VALUTAZIONE DELL'ERGONOMIA COGNITIVA NEL REPARTO DI LAMINAZIONE**

L'oggetto di studio dell'ergonomia cognitiva è stato uno dei reparti cardine dell'azienda: la laminazione. Come già anticipato nel capitolo 2.1.1 intitolato Hypersystem, la laminazione è un processo che prevede la stratificazione del carbonio pre-impregnato all'interno di uno stampo progettato ad hoc per il componente in questione, prima di essere mandato in autoclave per la cottura. Oltre al carbonio, che rappresenta la materia prima per eccellenza, si utilizzano inserti, riempitivi, sacchetti, film ricoprenti e altri materiali di cui si parlerà meglio in seguito. La scelta di voler fare un'analisi di ergonomia cognitiva in laminazione è nata da due fattori che la caratterizzano: manualità e intellettualità. Questo reparto è prettamente manuale, ma richiede anche tanta precisione e sforzo mentale. Ciò deriva dal settore di cui l'azienda è fornitore di riferimento: l'automotive, in cui le performance e la sicurezza delle persone sono essenziali. Rilevante è anche il fattore estetico, che rappresenta un punto di forza per competere in questo mercato. Le caratteristiche finali del componente finito dipendono tanto dall'accuratezza di questo processo; infatti, ad esempio, i diversi strati di carbonio pre-impregnato devono seguire un ben preciso senso fibra. Quest'ultimo può essere di due tipi:  $0^{\circ}/90^{\circ}$  o  $\pm 45^{\circ}$ . Il primo senso fibra conferisce resistenza al pezzo, mentre

il secondo elasticità e leggerezza. In generale, il primo strato è sempre quello più critico, poiché è la parte estetica che in fase finale risulta visibile sul componente. Durante l'arco del processo bisogna essere concentrati e sicuri di quello che si sta facendo, in quanto ogni piccolo errore può trasformarsi in una perdita, sia di materiale, sia di tempo che di salute e sicurezza. Generalmente, tutte le fasi sono candidate ad essere critiche, poiché una influenza l'altra, ma se ne possono citare due in particolare che, oltre la prima stratificazione, comportano un'elevata attenzione e sforzo mentale: l'eventuale messa in posa del sacchetto e l'eventuale chiusura/assemblaggio. La prima attività consiste nell'inserire un sacchetto o una camera d'aria all'interno di stampi di componenti caratterizzati da geometrie spigolose o cave, che ha l'obiettivo, in fase di cottura, di gonfiarsi e compattare il materiale lì dove non si riuscirebbe ad arrivare. È una fase piuttosto critica, poiché il sacchetto deve arrivare a coprire tutti gli spigoli, evitando che scoppi. La seconda attività consiste nel chiudere o assemblare gli stampi, a formare il componente finale. Anche questa rappresenta una fase molto critica, poiché durante la sovrapposizione degli stampi, bisogna evitare che si pizzichi il materiale, altrimenti il pezzo ha delle elevate possibilità di diventare scarto.

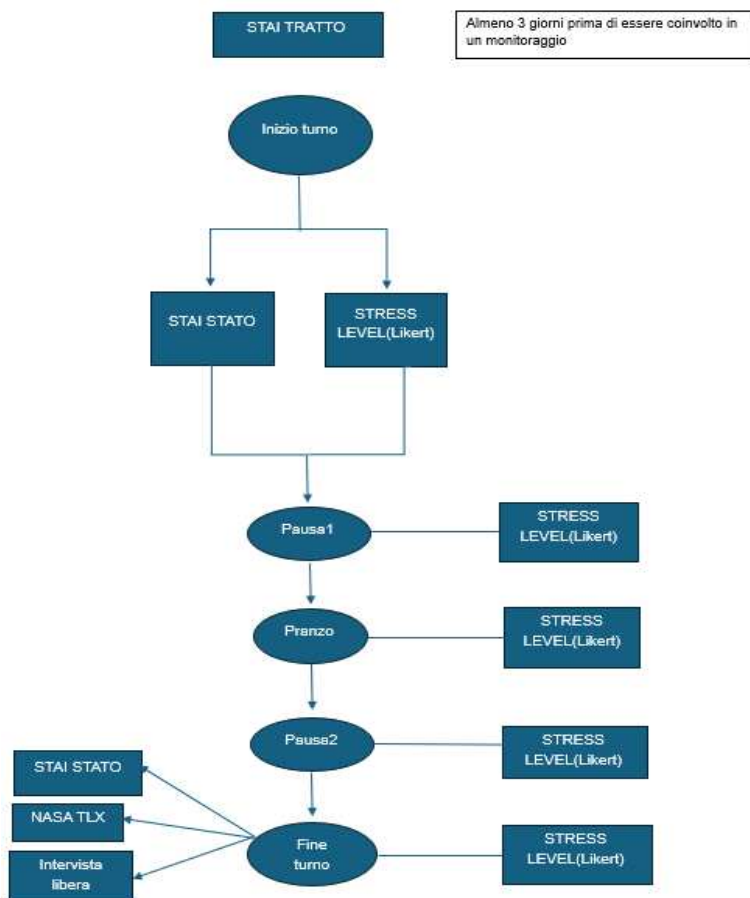


***Figura 47-Laminazione di un componente***

Lo studio di ergonomia cognitiva in laminazione ha previsto tre fasi:

- 1) Somministrazione dei questionari di valutazione;
- 2) Raccolta dei parametri vitali mediante sensoristica avanzata;
- 3) Analisi e interpretazione dei risultati.

## 2.2.1 PROTOCOLLO DI VALUTAZIONE DELLO STRESS



*Figura 48-Protocollo di valutazione dello stress*

Come si evince dall'immagine sovrastante, è stato creato un protocollo di valutazione dello stress come linea guida per la somministrazione dei questionari. La struttura è la seguente:

- Almeno tre giorni prima del primo monitoraggio di un operatore è stato sottoposto il questionario STAI TRATTO;
- A inizio turno e a fine turno di ogni monitoraggio è stato fatto compilare il questionario STAI DI STATO;
- A inizio turno, alla prima pausa, alla pausa pranzo, alla seconda pausa e alla fine del turno, è stato chiesto all'operatore quanto si sentisse stressato da 1 a 10;
- A fine turno è stato somministrato il questionario NASA TLX, con la possibilità di effettuare un'intervista libera con l'interessato, per conoscere se ci sono stati degli episodi particolari durante l'attività lavorativa, utili allo studio.

## 2.2.2 DESCRIZIONE DELLA SENSORISTICA UTILIZZATA

Per il rilevamento dei parametri vitali, essenziali all'indagine di ergonomia cognitiva, sono stati utilizzati i seguenti strumenti di monitoraggio:

- Orologio Embrace Plus di Empatica;
- Fascia toracica BioHarness 3-Zephyr.

Il primo rappresenta lo smartwatch più avanzato e versatile al mondo per il monitoraggio continuo della salute e nasce per le sperimentazioni cliniche nel campo dell'epilessia e dei disturbi del sonno. Consente di raccogliere, elaborare, memorizzare i parametri fisiologici e di trasmetterli a un'applicazione o a un sistema connesso, allo scopo di analizzare in modo continuo i dati acquisiti ed estrarre biomarcatori digitali specifici. Il dispositivo è dotato di:

- Un sensore EDA (ElectroDermal Activity) che rileva sottili cambiamenti nella conduttanza elettrica sulla superficie della pelle (Attività elettrotermica);
- Un sensore PPG ottico avanzato (fotopletismogramma) che misura la frequenza cardiaca (Pulse Rate) e la variabilità della frequenza cardiaca (PRV);
- Un sensore di rilevazione della temperatura della pelle;
- Un accelerometro e un giroscopio che forniscono dati grezzi di accelerazione e velocità angolare.

L'orologio è abbinato a una piattaforma online (Care Portal) che permette di:

- Registrare i partecipanti coinvolti nei monitoraggi, attraverso la creazione di un ID che fornisce delle credenziali sulle quali è presente un QR-code di identificazione;
- Visualizzare in tempo reale i parametri vitali sopra descritti e la loro variazione durante l'intero monitoraggio.

Inoltre, è associata un'applicazione sullo smartphone chiamata Care Lab, con il quale è possibile dar avvio al monitoraggio scannerizzando il QR-code del partecipante ed effettuare il logout più la sincronizzazione dei dati in fase di fine analisi. L'app consente di verificare la corretta funzionalità dell'orologio, in termini di connessione internet, modalità di inserimento al polso, percentuale di batteria e di osservare i valori di alcuni principali parametri. Per un buon funzionamento, è importante che lo smartwatch sia messo attorno al polso della mano non dominante, a una distanza di due dita dall'osso e ben aderente in modo che i sensori stiano a contatto con la pelle.

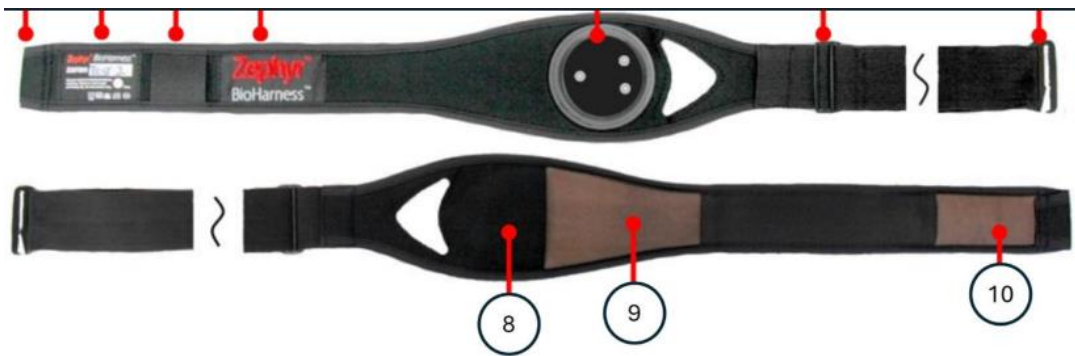


**Figura 49-Orologio Embrace Plus di Empatica**

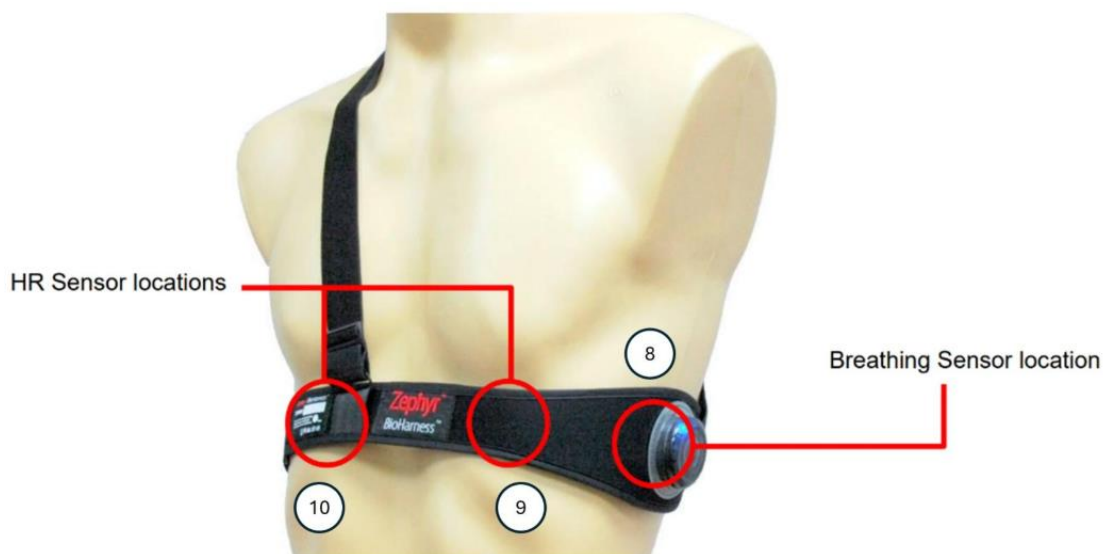


**Figura 50-Software Empatica**

Il secondo, invece, rappresenta un dispositivo utilizzato per valutare le performance in ambito sportivo dotato di un modulo elettronico che si aggancia alla fascia, il quale memorizza e trasmette molteplici dati fisiologici, tra cui ECG, frequenza cardiaca, frequenza respiratoria, postura e temperatura cutanea. Come già visto per lo smartwatch di Empatica, anche la Zephyr ospita un accelerometro che permette di rilevare il movimento e rendere la misura degli altri parametri fisiologici più accurata. È associato un software chiamato OmniSense che permette l'analisi e la visualizzazione in tempo reale dei dati monitorati. Per un corretto funzionamento è importante che la fascia, in corrispondenza dei sensori, sia umidificata con dell'acqua per una migliore attivazione degli stessi e che sia posizionata con il modulo lateralmente sotto al petto a sinistra.



**Figura 51-Fascia toracica BioHarness 3-Zephyr**



**Figura 52-Corretto posizionamento della fascia**

Nello studio, agli strumenti di monitoraggio sopra descritti, è stato affiancato l'utilizzo di una GoPro, necessaria per la ripresa dell'attività durante il monitoraggio. Quest'ultima ha permesso di non perdere alcun tempo di inizio e fine fase della laminazione, necessari per l'eventuale associazione di una variazione dei parametri fisiologici ad un'attività.

### 2.2.3 DESCRIZIONE DEL MONITORAGGIO

Entrando nel cuore del monitoraggio, lo studio di ergonomia cognitiva ha previsto dapprima l'individuazione, insieme ai Team Leader del reparto, di almeno coppie di componenti con diverso livello di complessità/criticità. Quest'ultimo è presente nel database del gestionale aziendale e si articola su tre livelli, dove 1 rappresenta un livello di criticità basso, 2 un livello di criticità medio e 3 un livello di criticità alto.

I principali fattori che determinano il livello di complessità/criticità di un componente sono:

- 1) Presenza di assemblaggi/chiusura;
- 2) Presenza di sacchetti/camere d'aria;
- 3) Presenza della componente estetica (componenti Carbon Look o con carbonio a vista);
- 4) Strutturalità del pezzo.

In merito a ciò, sono stati scelti i seguenti componenti, di cui sono riportati i livelli di complessità/criticità da gestionale:

| COMPONENTI             | LIVELLO DI CRITICITA' A DETTA DEL GESTIONALE |
|------------------------|--|
| ALA ORECA GT3          | 2  |
| ALA TATUUS EUROPA      | 1  |
| BRANCARDO HELEN        | 2  |
| FENDER PAMELA          | 3  |
| MUSETTO TATUUS         | 1  |
| ORECA UNDERFLOOR LMP2C | 3  |
| ORECA VANE             | 2  |
| SPLITTER ORECA GT3     | 2  |
| REAR FLAP TATUUS F3R   | 2  |
| FENDER PAMELA GT3      | 3  |
| REAR SPOILER SIMON     | 3  |

*Figura 53-Livelli di criticità dei componenti da sistema Gestionale aziendale*

Successivamente, sono stati individuati alcuni operatori da coinvolgere nello studio, abilitati alla laminazione di uno o più componenti di interesse.

| Codice     | Genere | Anno di nascita | Altezza | Peso | Esperienza     | Note                  |
|------------|--------|-----------------|---------|------|----------------|-----------------------|
| ARSTECH010 | F      | 1971            | 158     | 47   | 16 anni        |                       |
| ARSTECH003 | M      | 1968            | 174     | 66   | 23 anni        |                       |
| ARSTECH009 | F      | 1997            | 161     | 63   | 2 mesi         | RAGAZZA IN FORMAZIONE |
| ARSTECH015 | M      | 2002            | 175     | 64   | 1 mese         | RAGAZZO IN FORMAZIONE |
| ARSTECH016 | F      | 1996            | 162     | 52   | 4 anni         |                       |
| ARSTECH014 | F      | 1997            | 158     | 58   | 1 anno         |                       |
| ARSTECH012 | F      | 1980            | 167     | 65   | 8 mesi         |                       |
| ARSTECH013 | F      | 2002            | 160     | 52   | 1 anno e mezzo |                       |
| ARSTECH017 | F      | 1991            | 176     | 65   | 8 mesi         |                       |
| ARSTECH019 | M      | 2004            | 170     | 80   | 1 mese e mezzo | RAGAZZO IN FORMAZIONE |
| ARSTECH020 | F      | 1973            | 160     | 52   | 25 anni        |                       |
| ARSTECH021 | F      | 2003            | 160     | 58   | 1 anno         |                       |
| ARSTECH022 | F      | 1975            | 162     | 76   | 10 mesi        |                       |

**Figura 54-Operatori coinvolti nello studio**

La tabella Excel sopra riportata fornisce una descrizione completa delle persone coinvolte, in termini di Codice identificativo, Genere, Anno di nascita, Altezza, Peso, Esperienza e ulteriori note. Queste informazioni permettono una caratterizzazione dei laminatori e sono importanti in fase di analisi ed interpretazione dei risultati. Una volta individuati i componenti e gli operatori da monitorare, l'analisi di ergonomia cognitiva ha previsto una sensibilizzazione dei laminatori in merito al tema. È stato spiegato loro il fine dello studio, invitandoli a una massima collaborazione per la buona riuscita del monitoraggio. Inoltre, fondamentali sono stati la comunicazione e il coinvolgimento per la comprensione del processo di laminazione. Successivamente, prima dei monitoraggi con la sensoristica, è stato fatto uno studio dei componenti di interesse. Quest'ultimo ha previsto l'osservazione attenta dell'attività di laminazione, con il supporto delle istruzioni di lavoro (PlayBook). Questa fase è stata fondamentale per capire le varie fasi e le criticità ad esse associate, mediante un dialogo continuo con gli operatori. Il passo successivo, dopo aver visto più di una volta l'attività per tutti i componenti, è stato lo studio approfondito dei vari PlayBook, con il fine di individuare le fasi principali del processo di laminazione. Questo ha permesso la creazione di un modello standard del processo, capace di adattarsi ai vari pezzi.

Segue nell'immagine sottostante quanto detto sopra:

| <b>FASI STANDARD DELLA LAMINAZIONE</b>     |  |
|--|--|
| 1) INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE |  |
| 2) PREPARAZIONE AL VUOTO                   |  |
| 3) INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO        |  |
| 4) RIVESTIMENTO INSERTI E/O RIEMPITIVI     |  |
| 5) INSERIMENTO INSERTI                     |  |
| 6) INSERIMENTO RIEMPITIVI                  |  |
| 7) INSERIMENTO RINFORZI                    |  |
| 8) INSERIMENTO SACCHETTO                   |  |
| 9) INSERIMENTO FILM DEFINITIVO             |  |
| 10) ASSEMBLAGGIO/CHIUSURA                  |  |
| 11) ALTRO                                  |  |

*Figura 55-Fasi standard della Laminazione*

Per strato materiale principale si intende l'inserimento di dime che coprono interamente lo stampo del componente. In altre parole, rappresentano gli strati principali e nel PlayBook sono sotto la voce "GENERALE", come si evince dall'immagine sottostante:

| FASE | MATERIALE  | QUANTITA' | SPESSORE (mm) | ORIENTAMENTO | DESCRIZIONE | VUOTO |
|------|------------|-----------|---------------|--------------|-------------|-------|
| 20   | 200P DT120 | 1 STRATO  | 1x 0,23       | +/-45°       | GENERALE    | ////  |

*Figura 56-Voce "Generale" del PlayBook*

La preparazione al vuoto, invece, rappresenta il "sottovuoto" del pezzo e consiste nell'inserimento in sequenza di film forato blu, assorbitore e sacco. Per materiale secondario si intende l'inserimento di materiale localizzato o parziale sullo stampo e nel PlayBook sono sotto la voce "LOCALIZZATO", "PARZIALE".

| FASE | MATERIALE    | QUANTITA' | SPESSORE (mm) | ORIENTAMENTO | DESCRIZIONE | VUOTO  |
|------|--------------|-----------|---------------|--------------|-------------|--------|
| 30   | ROTOLE DI UD | ////      | ////          | ////         | LOCALIZZATO | 15 MIN |

*Figura 57-Voce "Localizzato" del PlayBook*

| FASE | MATERIALE  | QUANTITA' | SPESSORE (mm) | ORIENTAMENTO | DESCRIZIONE | VUOTO |
|------|------------|-----------|---------------|--------------|-------------|-------|
| 50   | 400T DT120 | 1 STRATO  | 1x 0,46       | 0/90°        | PARZIALE    | ////  |

*Figura 58-Voce "Parziale" del PlayBook*

Per rivestimento inserti e/o riempitivi si intende l'inserimento di materiale specifico distaccante (Structil 300g) attorno all'inserto/riempitivo, in modo che quest'ultimo non entri direttamente a contatto con il carbonio. Per inserti si intendono componenti di materiale diverso che permettono di non far degradare il carbonio quando due superfici entrano a contatto e di reggere le filettature che il carbonio da solo non riesce a sostenere. Per riempitivi si intendono componenti di materiale diverso (Rohacell, Nomex e Honeycomb) che permettono di aumentare lo spessore e dare strutturalità al pezzo, senza aumentarne il peso e i costi. Per rinforzi si intendono dime localizzate che danno sostegno a determinati punti del componente soggetti a sollecitazioni. Per film definitivo si intende un film finale che viene messo una volta conclusa la laminazione per proteggere e isolare il carbonio da tutto quello che viene nelle fasi successive e per far fuoriuscire la resina nel caso si vuole alleggerire il componente. Con la voce altro si intendono tutte le attività secondarie come: rifilatura del materiale, approvvigionamento materiale, preparazione materiale, preparazione alla laminazione, bisogni fisiologici, consulto con il tecnologo, apertura sacco, pulizie ecc. La fase del sacchetto e della chiusura, invece, sono state già spiegate all'inizio del capitolo. La standardizzazione del processo di laminazione è stata utile per la creazione di template per la laminazione di ciascun componente, da compilare durante l'attività monitorata. La struttura prevede:

- NOME del componente;
- LIVELLO DI CRITICITA' a detta del gestionale;
- OPERATORE coinvolto;
- LIVELLO DI CRITICITA' a detta dell'operatore;
- FASE PIU' CRITICA a detta dell'operatore;
- WORKERS presenti sul componente;
- DATA INIZIO E FINE della laminazione del componente;
- FASI DELLA LAMINAZIONE, suddivisa per sotto-assemblati, con orario di inizio e fine, descrizione ed eventuali note.

Di sotto sono riportati alcuni template usati per lo studio:

| ALA TATUUS EUROPA  |               |             |                                |   |
|--|---------------|-------------|--------------------------------|---|
| LIVELLO CRITICITA' A DETTA DEL GESTIONALE:                       |               |             |                                | DATA INIZIO:                              |
| OPERATORE:   |               |             |                                | DATA FINE:                                |
| LIVELLO CRITICITA' A DETTA OPERATORE:                            |               |             |                                |   |
| FASE PIU' CRITICA A DETTA OPERATORE:                             |               |             |                                |   |
| WORKERS:   |               |             |                                |   |
|  |               |             |                                |   |
|  |               |             |                                |   |
| <b>INIZIO LAMINAZIONE STAMPO</b>                                 | ORARIO INIZIO | ORARIO FINE | DESCRIZIONE                    | NOTE                                      |
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE                          |               |             | (GENERALE)                     |   |
| PREPARAZIONE AL VUOTO  |               |             |                                | PREPARAZIONE VUOTO STAMPO E CONTROSTAMPO  |
| RIVESTIMENTO INSERTI E/O RIEMPITIVI                              |               |             | (RIVESTIMENTO)                 | RIVESTIMENTO INSERTI E RIEMPITIVI         |
| ASSEMBLAGGIO   |               |             | (ASSEMBLAGGIO)                 | ASSEMBLAGGIO OMEGA DI GOMMA SULLO STAMPO  |
| INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO                                 |               |             | (PARZIALE)                     | RIVESTIMENTO OMEGA DI GOMMA               |
| INSERIMENTO RIEMPITIVO+INSERIMENTO INSERTI+ INSERIMENTO RINFORZI |               |             | (RIEMPITIVO+INSERTI+ RINFORZI) | ROHACELL( RHC BODY +RHC)+INSERTI+RINFORZI |
| INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO                                 |               |             | (LOCALIZZATO)                  | MATERIALE PER FAR ADERIRE SACCHETTO       |
| INSERIMENTO SACCHETTO  |               |             | (SACCHETTO)                    |   |
| INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO                                 |               |             | (LOCALIZZATO)                  | FASCETTE STRUCTIL 300                     |
| ASSEMBLAGGIO   |               |             | (ASSEMBLAGGIO)                 | ASSEMBLAGGIO STAMPO E CONTROSTAMPO        |
| INSERIMENTO FILM DEFINITIVO                                      |               |             | (FILM DEFINITIVO)              |   |
|  |               |             |                                |   |
|  |               |             |                                |   |
| <b>INIZIO LAMINAZIONE CONTROSTAMPO</b>                           |               |             |                                |   |
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE                          |               |             | (GENERALE)                     |   |
| INSERIMENTO RINFORZI   |               |             | (RINFORZI)                     |   |

Figura 59-Template ALA TATUUS EUROPA

| ORECA VANE                              |               |             |                   |                          |
|---|---------------|-------------|-------------------|--------------------------|
| LIVELLO CRITICITA' GESTIONALE:          |               |             |                   | DATA INIZIO:             |
| OPERATORE:                              |               |             |                   | DATA FINE:               |
| LIVELLO CRITICITA' A DETTA OPERATORE:   |               |             |                   |                          |
| FASE PIU' CRITICA A DETTA OPERATORE:    |               |             |                   |                          |
| WORKERS:                                |               |             |                   |                          |
|   |               |             |                   |                          |
|   |               |             |                   |                          |
| <b>INIZIO LAMINAZIONE S10</b>           | ORARIO INIZIO | ORARIO FINE | DESCRIZIONE       | NOTE                     |
| RIVESTIMENTO INSERTI E/O RIEMPITIVI     |               |             | (RIVESTIMENTO)    | RIVESTIMENTO INSERTI     |
| INSERIMENTO INSERTI                     |               |             | (INSERTI)         | BOCCOLA                  |
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE |               |             | (GENERALE)        |                          |
| PREPARAZIONE AL VUOTO                   |               |             |                   |                          |
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE |               |             | (GENERALE)        |                          |
| INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO        |               |             | (LOCALIZZATO)     | SYNSPAND                 |
| INSERIMENTO RINFORZI                    |               |             | (RINFORZI)        |                          |
| PREPARAZIONE AL VUOTO                   |               |             |                   |                          |
|   |               |             |                   |                          |
| <b>INIZIO LAMINAZIONE S30</b>           |               |             |                   |                          |
| RIVESTIMENTO INSERTI E/O RIEMPITIVI     |               |             | (RIVESTIMENTO)    | RIVESTIMENTO INSERTI     |
| INSERIMENTO INSERTI                     |               |             | (INSERTI)         | BOCCOLA                  |
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE |               |             | (GENERALE)        |                          |
| PREPARAZIONE AL VUOTO                   |               |             |                   |                          |
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE |               |             | (GENERALE)        |                          |
| INSERIMENTO RINFORZI                    |               |             | (RINFORZI)        |                          |
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE |               |             | (GENERALE)        |                          |
| PREPARAZIONE AL VUOTO                   |               |             |                   |                          |
|   |               |             |                   |                          |
| <b>INIZIO LAMINAZIONE S20</b>           |               |             |                   |                          |
| RIVESTIMENTO INSERTI E/O RIEMPITIVI     |               |             | (RIVESTIMENTO)    | RIVESTIMENTO INSERTI     |
| INSERIMENTO INSERTI                     |               |             | (INSERTI)         | BOCCOLA                  |
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE |               |             | (GENERALE)        |                          |
| PREPARAZIONE AL VUOTO                   |               |             |                   |                          |
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE |               |             | (GENERALE)        |                          |
| INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO        |               |             | (LOCALIZZATO)     | SYNSPAND                 |
| INSERIMENTO RINFORZI                    |               |             | (RINFORZI)        |                          |
| PREPARAZIONE AL VUOTO                   |               |             |                   |                          |
| ASSEMBLAGGIO                            |               |             | (ASSEMBLAGGIO)    | ASSEMBLAGGIO S20+S30     |
| INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO        |               |             | (LOCALIZZATO)     | SYNSPAND                 |
| RIVESTIMENTO INSERTI E/O RIEMPITIVI     |               |             | (RIVESTIMENTO)    | RIVESTIMENTO RIEMPITIVO  |
| INSERIMENTO RIEMPITIVO                  |               |             | (RIEMPITIVO)      | ROHACELL                 |
| PREPARAZIONE AL VUOTO                   |               |             |                   |                          |
| INSERIMENTO RINFORZI                    |               |             | (RINFORZI)        |                          |
| ASSEMBLAGGIO                            |               |             | (ASSEMBLAGGIO)    | ASSEMBLAGGIO S10-S20+S30 |
| INSERIMENTO FILM DEFINITIVO             |               |             | (FILM DEFINITIVO) |                          |

Figura 60-Template ORECA VANE

| SPLITTER ORECA GT3   |               |             |                     | DATA INIZIO:                                 |
|--|---------------|-------------|---------------------|--|
| LIVELLO CRITICITA' GESTIONALE:                               |               |             |                     | DATA FINE:                                   |
| OPERATORE:   |               |             |                     |  |
| LIVELLO CRITICITA' A DETTA OPERATORE:                        |               |             |                     |  |
| FASE PIU' CRITICA A DETTA OPERATORE:                         |               |             |                     |  |
| WORKERS:   |               |             |                     |  |
| INIZIO LAMINAZIONE S10                                       | ORARIO INIZIO | ORARIO FINE | DESCRIZIONE         | NOTE   |
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE                      |               |             | (GENERALE)          | 14510  |
| INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO                             |               |             | (LOCALIZZATO)       | ROTOLOINO UID                                |
| PREPARAZIONE AL VUOTO  |               |             |                     |  |
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE                      |               |             | (GENERALE)          | 24510,33810                                  |
| PREPARAZIONE AL VUOTO  |               |             |                     |  |
| RIVESTIMENTO INSERITI E/O RIEMPTIVI                          |               |             | (RIVESTIMENTO)      | RIVESTIMENTO INSERITI                        |
| INSERIMENTO INSERITI   |               |             | (INSERITI)          |  |
| INSERIMENTO RINFORZI   |               |             | (RINFORZI)          | R1, R2 ZONA INSERITI                         |
| RIVESTIMENTO INSERITI E/O RIEMPTIVI                          |               |             | (RIVESTIMENTO)      | RIVESTIMENTO RIEMPTIVI                       |
| INSERIMENTO RIEMPTIVI  |               |             | (RIEMPTIVO)         | HC   |
| PREPARAZIONE AL VUOTO  |               |             |                     |  |
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE                      |               |             | (GENERALE)          | 44510  |
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE+INSERIMENTO RINFORZI |               |             | (GENERALE+RINFORZI) | 54510+R3510                                  |
| <b>INIZIO LAMINAZIONE S20</b>                                |               |             |                     |  |
| INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO                             |               |             | (LOCALIZZATO)       | DIME DS                                      |
| PREPARAZIONE AL VUOTO  |               |             |                     |  |
| INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO                             |               |             | (LOCALIZZATO)       | SACRIFICALI                                  |
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE                      |               |             | (GENERALE)          | 14520  |
| PREPARAZIONE AL VUOTO  |               |             |                     |  |
| INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO                             |               |             | (LOCALIZZATO)       | ROTOLOINO UID                                |
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE                      |               |             | (GENERALE)          | 24520  |
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE                      |               |             | (GENERALE)          | 34520  |
| INSERIMENTO RINFORZI   |               |             | (RINFORZI)          |  |
| RIVESTIMENTO INSERITI E/O RIEMPTIVI                          |               |             | (RIVESTIMENTO)      | RIVESTIMENTO INSERITI                        |
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE                      |               |             | (GENERALE)          | 44520  |
| ASSEMBLAGGIO   |               |             | (ASSEMBLAGGIO)      | MONTAGGIO FINTE BATTUTE                      |
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE                      |               |             | (GENERALE)          | 54520  |
| INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO                             |               |             | (LOCALIZZATO)       |  |
| RIVESTIMENTO INSERITI E/O RIEMPTIVI                          |               |             | (RIVESTIMENTO)      | RIVESTIMENTO ISOLA                           |
| RIVESTIMENTO INSERITI E/O RIEMPTIVI                          |               |             | (RIVESTIMENTO)      | RIVESTIMENTO INSERITI+RIVESTIMENTO RIEMPTIVO |
| INSERIMENTO INSERITI   |               |             | (INSERITI)          | INSERIMENTO INSERITI SUL ROHACELL            |
| ASSEMBLAGGIO   |               |             | (ASSEMBLAGGIO)      | ASSEMBLAGGIO ROHACELL+ISOLA                  |
| ASSEMBLAGGIO   |               |             | (ASSEMBLAGGIO)      | ASSEMBLAGGIO ROHACELL+ISOLA SU S20           |
| INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO                             |               |             | (LOCALIZZATO)       |  |
| RIVESTIMENTO INSERITI E/O RIEMPTIVI                          |               |             | (RIVESTIMENTO)      | RIVESTIMENTO INSERITI                        |
| INSERIMENTO INSERITI   |               |             | (INSERITI)          |  |
| INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO                             |               |             | (LOCALIZZATO)       | CAPPUCCI                                     |
| INSERIMENTO SACCHETTO  |               |             | (SACCHETTO)         | CAMERA D'ARSA                                |
| INSERIMENTO FILM DEFINITIVO                                  |               |             | (FILM DEFINITIVO)   | FER  |
| ASSEMBLAGGIO   |               |             | (ASSEMBLAGGIO)      | ASSEMBLAGGIO S10-S20                         |
| INSERIMENTO FILM DEFINITIVO                                  |               |             | (FILM DEFINITIVO)   |  |

**Figura 61-Template SPLITTER ORECA GT3**

Segnare, durante il monitoraggio l'orario di inizio e di fine delle diverse fasi della laminazione di un componente, è stato fondamentale per avere una fotografia di quello che l'operatore ha fatto nei diversi istanti dell'attività. Questo è utile per dare complementarità e significato alle variazioni dei parametri vitali, raccolte dalla sensoristica utilizzata. Infatti, per lo studio, è indispensabile poter associare ad una variazione significativa, per esempio, di frequenza cardiaca o sudorazione della pelle, l'attività del laminatore ad essa connessa. Soltanto così, è possibile fare un'analisi ed interpretazione dei dati raccolti. Una volta pronti i template visti sopra, sono stati iniziati i monitoraggi con l'utilizzo dell'orologio Embrace Plus, della fascia toracica BioHarness 3 e della GOPRO. Inoltre, come descritto nel capitolo 2.2.1, sono stati somministrati gli opportuni questionari di valutazione. Come si evince dalla tabella sottostante, sono stati effettuati 40 monitoraggi; di questi è stata riportata la Data, l'Operatore coinvolto, l'Inizio e la Fine del turno lavorativo e l'Inizio e la Fine del monitoraggio. Quest'ultimo, in genere, ha coperto l'intero turno lavorativo (8 ore+1 ora di pausa pranzo), in modo da poter raccogliere dati sul laminatore dall'inizio alla fine della giornata lavorativa.

| Data       | Operatore  | Inizio turno | Fine turno | Inizio Monitoraggio | Fine Monitoraggio |
|------------|------------|--------------|------------|---------------------|-------------------|
| 10/07/2024 | ARSTECH003 | 06:00        | 14:00      | 09:37               | 10:33             |
| 11/07/2024 | ARSTECH009 | 08:00        | 17:00      | 08:30               | 16:56             |
| 12/07/2024 | ARSTECH010 | 06:00        | 17:00      | 10:22               | 16:49             |
| 16/07/2024 | ARSTECH012 | 08:00        | 17:00      | 08:51               | 17:00             |
| 17/07/2024 | ARSTECH012 | 08:00        | 17:00      | 08:23               | 16:35             |
| 18/07/2024 | ARSTECH013 | 08:00        | 17:00      | 09:13               | 16:10             |
| 19/07/2024 | ARSTECH014 | 08:00        | 17:00      | 08:21               | 16:57             |
| 22/07/2024 | ARSTECH014 | 06:00        | 17:00      | 08:28               | 16:57             |
| 23/07/2024 | ARSTECH014 | 08:00        | 17:00      | 08:24               | 16:59             |
| 24/07/2024 | ARSTECH015 | 08:00        | 17:00      | 14:21               | 16:57             |
| 24/07/2024 | ARSTECH014 | 06:00        | 14:00      | 08:31               | 14:03             |
| 25/07/2024 | ARSTECH016 | 06:00        | 17:00      | 08:20               | 16:49             |
| 26/07/2024 | ARSTECH016 | 08:00        | 17:00      | 08:12               | 16:49             |
| 29/07/2024 | ARSTECH010 | 08:00        | 17:00      | 08:43               | 16:48             |
| 30/07/2024 | ARSTECH012 | 08:00        | 17:00      | 08:18               | 16:51             |
| 31/07/2024 | ARSTECH012 | 08:00        | 17:00      | 08:17               | 17:01             |
| 01/08/2024 | ARSTECH017 | 08:00        | 17:00      | 08:31               | 17:00             |
| 02/08/2024 | ARSTECH017 | 08:00        | 17:00      | 08:22               | 15:22             |
| 05/08/2024 | ARSTECH010 | 06:00        | 17:00      | 08:25               | 17:00             |
| 07/08/2024 | ARSTECH014 | 08:00        | 17:00      | 14:44               | 17:00             |
| 08/08/2024 | ARSTECH014 | 08:00        | 17:00      | 08:25               | 17:00             |
| 09/08/2024 | ARSTECH014 | 08:00        | 17:00      | 08:25               | 17:26             |
| 12/08/2024 | ARSTECH014 | 08:00        | 17:00      | 08:28               | 16:57             |
| 13/08/2024 | ARSTECH019 | 06:00        | 17:00      | 11:02               | 16:50             |
| 19/08/2024 | ARSTECH012 | 07:00        | 17:00      | 08:31               | 16:53             |
| 20/08/2024 | ARSTECH012 | 08:00        | 17:00      | 08:23               | 16:55             |
| 21/08/2024 | ARSTECH016 | 08:00        | 17:00      | 08:22               | 16:56             |
| 22/08/2024 | ARSTECH016 | 06:00        | 17:00      | 08:22               | 16:56             |
| 23/08/2024 | ARSTECH020 | 08:00        | 17:00      | 08:14               | 16:50             |
| 26/08/2024 | ARSTECH017 | 06:00        | 14:00      | 08:30               | 14:04             |
| 27/08/2024 | ARSTECH021 | 08:00        | 17:00      | 10:24               | 16:49             |
| 28/08/2024 | ARSTECH021 | 08:00        | 17:00      | 08:21               | 17:34             |
| 29/08/2024 | ARSTECH021 | 08:00        | 17:00      | 08:09               | 17:04             |
| 02/09/2024 | ARSTECH022 | 06:00        | 14:00      | 08:23               | 13:51             |
| 03/09/2024 | ARSTECH021 | 06:00        | 17:00      | 08:31               | 17:08             |
| 05/09/2024 | ARSTECH014 | 08:00        | 17:00      | 08:48               | 16:53             |
| 06/09/2024 | ARSTECH014 | 08:00        | 17:00      | 08:28               | 16:55             |
| 11/09/2024 | ARSTECH013 | 08:00        | 17:00      | 10:01               | 16:39             |
| 12/09/2024 | ARSTECH013 | 08:00        | 17:00      | 10:53               | 16:56             |
| 13/09/2024 | ARSTECH013 | 06:00        | 17:00      | 08:18               | 16:43             |

*Figura 62-Tabella dei monitoraggi effettuati*

Inoltre, per ogni monitoraggio, come mostrano le due immagini sottostanti a titolo di esempio, sono state raccolte le seguenti informazioni:

- Ora di inizio e di fine della laminazione del componente, in relazione alla data e all'operatore coinvolto;
- Ora di inizio e di fine dei break: Prima pausa, pausa pranzo e seconda pausa, sempre correlata alla data e all'operatore monitorato. Questo è stato fondamentale per associare a possibili variazioni dei parametri vitali rilevati dalla sensoristica momenti in cui l'operatore è stato in pausa.

| Data       | Operatore  | Ora Inizio | Ora Fine                        | Evento/Prodotto                       |
|------------|------------|------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| 10/07/2024 | ARSTECH003 | 09:45      |                                 | 12:30 REAR SPOILER SIMON              |
| 10/07/2024 | ARSTECH003 | 10:22      |                                 | 10:37 SECONDA PAUSA                   |
| 10/07/2024 | ARSTECH003 | 11:34      |                                 | 12:05 PAUSA PRANZO                    |
| 11/07/2024 | ARSTECH009 | 08:33      |                                 | 10:52 ALA TATIUS EUROPA               |
| 11/07/2024 | ARSTECH009 | 10:04      |                                 | 10:19 PRIMA PAUSA                     |
| 11/07/2024 | ARSTECH009 | 12:30      |                                 | 13:30 PAUSA PRANZO                    |
| 11/07/2024 | ARSTECH009 | 10:54      |                                 | 13:56 ALA TATIUS EUROPA               |
| 11/07/2024 | ARSTECH009 | 15:05      |                                 | 15:20 SECONDA PAUSA                   |
| 11/07/2024 | ARSTECH009 | 14:00      |                                 | 16:05 ALA TATIUS EUROPA               |
| 11/07/2024 | ARSTECH009 | 16:10      |                                 | 16:56 ALA TATIUS EUROPA               |
| 12/07/2024 | ARSTECH010 | 10:23      |                                 | 15:04 ORECA VANE                      |
| 12/07/2024 | ARSTECH010 | 09:50      |                                 | 10:05 PRIMA PAUSA                     |
| 12/07/2024 | ARSTECH010 | 12:30      |                                 | 13:30 PAUSA PRANZO                    |
| 12/07/2024 | ARSTECH010 | 15:05      |                                 | 15:20 SECONDA PAUSA                   |
| 12/07/2024 | ARSTECH010 | 15:25      | non finisce nel turno del 12/07 | ORECA VANE                            |
| 16/07/2024 | ARSTECH012 | 08:53      | non finisce nel turno del 16/07 | FENDER PAMELA                         |
| 16/07/2024 | ARSTECH012 | 10:17      |                                 | 10:32 PRIMA PAUSA                     |
| 16/07/2024 | ARSTECH012 | 12:30      |                                 | 13:30 PAUSA PRANZO                    |
| 16/07/2024 | ARSTECH012 | 15:15      |                                 | 15:30 SECONDA PAUSA                   |
| 17/07/2024 | ARSTECH012 | 08:25      |                                 | 16:30 FENDER PAMELA                   |
| 17/07/2024 | ARSTECH012 | 10:20      |                                 | 10:35 PRIMA PAUSA                     |
| 17/07/2024 | ARSTECH012 | 12:30      |                                 | 13:30 PAUSA PRANZO                    |
| 17/07/2024 | ARSTECH012 | 15:00      |                                 | 15:15 SECONDA PAUSA                   |
| 18/07/2024 | ARSTECH013 | 08:50      |                                 | 17:00 SACCETTO+CHIUSURA FENDER PAMELA |
| 18/07/2024 | ARSTECH013 | 09:40      |                                 | 09:55 PRIMA PAUSA                     |
| 18/07/2024 | ARSTECH013 | 12:30      |                                 | 13:30 PAUSA PRANZO                    |
| 18/07/2024 | ARSTECH013 | 15:25      |                                 | 15:40 SECONDA PAUSA                   |
| 19/07/2024 | ARSTECH014 | 08:22      |                                 | 16:24 PUNTALINO MUSO+MUSETTO          |
| 19/07/2024 | ARSTECH014 | 10:12      |                                 | 10:27 PRIMA PAUSA                     |
| 19/07/2024 | ARSTECH014 | 12:30      |                                 | 13:30 PAUSA PRANZO                    |
| 19/07/2024 | ARSTECH014 | 15:15      |                                 | 15:30 SECONDA PAUSA                   |
| 19/07/2024 | ARSTECH014 | 16:30      | non finisce nel turno del 19/07 | BRANCARDO HELEN                       |
| 22/07/2024 | ARSTECH014 | 08:14      | non finisce nel turno del 22/07 | BRANCARDO HELEN                       |
| 22/07/2024 | ARSTECH014 | 10:15      |                                 | 10:30 PRIMA PAUSA                     |
| 22/07/2024 | ARSTECH014 | 12:30      |                                 | 13:30 PAUSA PRANZO                    |
| 22/07/2024 | ARSTECH014 | 15:15      |                                 | 15:30 SECONDA PAUSA                   |
| 23/07/2024 | ARSTECH014 | 08:25      |                                 | 17:00 BRANCARDO HELEN                 |
| 23/07/2024 | ARSTECH014 | 10:00      |                                 | 10:15 PRIMA PAUSA                     |
| 23/07/2024 | ARSTECH014 | 12:30      |                                 | 13:30 PAUSA PRANZO                    |
| 23/07/2024 | ARSTECH014 | 15:20      |                                 | 15:35 SECONDA PAUSA                   |
| 24/07/2024 | ARSTECH015 | 14:21      |                                 | 16:14 ALA TATIUS EUROPA               |
| 24/07/2024 | ARSTECH015 | 15:16      |                                 | 15:33 SECONDA PAUSA                   |
| 24/07/2024 | ARSTECH014 | 08:32      |                                 | 14:10 MUSETTO TATIUS                  |
| 24/07/2024 | ARSTECH014 | 10:10      |                                 | 10:25 SECONDA PAUSA                   |
| 24/07/2024 | ARSTECH014 | 12:00      |                                 | 12:30 PAUSA PRANZO                    |

| Data       | Operatore  | Ora Inizio | Ora Fine   | Evento/Prodotto                                    |
|------------|------------|------------|--|--|
| 25/07/2024 | ARSTECH016 | 08:20      | non finisce nel turno del 25/07                                  | SPLITTER ORECA GT3                                 |
| 25/07/2024 | ARSTECH016 | 10:15      |  | 10:30 PRIMA PAUSA                                  |
| 25/07/2024 | ARSTECH016 | 12:30      |  | 13:30 PAUSA PRANZO                                 |
| 25/07/2024 | ARSTECH016 | 15:25      |  | 15:40 SECONDA PAUSA                                |
| 26/07/2024 | ARSTECH016 | 08:17      |  | 14:16 SPLITTER ORECA GT3                           |
| 26/07/2024 | ARSTECH016 | 10:09      |  | 10:24 PRIMA PAUSA                                  |
| 26/07/2024 | ARSTECH016 | 12:30      |  | 13:30 PAUSA PRANZO                                 |
| 26/07/2024 | ARSTECH016 | 14:16      |  | 17:00 INIZIA ALTRO COMPONENTE NON DI MIO INTERESSE |
| 26/07/2024 | ARSTECH016 | 15:09      |  | 15:24 SECONDA PAUSA                                |
| 29/07/2024 | ARSTECH010 | 08:43      |  | 14:14 ALA ORECA GT3                                |
| 29/07/2024 | ARSTECH010 | 10:11      |  | 10:26 PRIMA PAUSA                                  |
| 29/07/2024 | ARSTECH010 | 12:30      |  | 13:30 PAUSA PRANZO                                 |
| 29/07/2024 | ARSTECH010 | 14:27      | non finisce nel turno del 29/07                                  | ORECA VANE   |
| 29/07/2024 | ARSTECH010 | 15:09      |  | 15:24 SECONDA PAUSA                                |
| 30/07/2024 | ARSTECH012 | 08:20      | non finisce nel turno del 30/07                                  | FENDER PAMELA                                      |
| 30/07/2024 | ARSTECH012 | 10:04      |  | 10:19 PRIMA PAUSA                                  |
| 30/07/2024 | ARSTECH012 | 12:30      |  | 13:30 PAUSA PRANZO                                 |
| 30/07/2024 | ARSTECH012 | 15:15      |  | 15:30 SECONDA PAUSA                                |
| 31/07/2024 | ARSTECH012 | 08:17      |  | 17:03 FENDER PAMELA                                |
| 31/07/2024 | ARSTECH012 | 10:35      |  | 10:50 PRIMA PAUSA                                  |
| 31/07/2024 | ARSTECH012 | 13:00      |  | 13:30 PAUSA PRANZO                                 |
| 31/07/2024 | ARSTECH012 | 15:20      |  | 15:35 SECONDA PAUSA                                |
| 01/08/2024 | ARSTECH017 | 09:45      | non finisce nel turno del 1/07                                   | ORECA UNDERFLOOR LMP2C                             |
| 01/08/2024 | ARSTECH017 | 09:30      |  | 09:45 PRIMA PAUSA                                  |
| 01/08/2024 | ARSTECH017 | 12:30      |  | 13:30 PAUSA PRANZO                                 |
| 01/08/2024 | ARSTECH017 | 15:10      |  | 15:25 SECONDA PAUSA                                |
| 02/08/2024 | ARSTECH017 | 08:22      |  | 14:26 ORECA UNDERFLOOR LMP2C                       |
| 02/08/2024 | ARSTECH017 | 09:30      |  | 09:45 PRIMA PAUSA                                  |
| 02/08/2024 | ARSTECH017 | 12:30      |  | 13:30 PAUSA PRANZO                                 |
| 02/08/2024 | ARSTECH017 | 15:00      |  | 15:15 SECONDA PAUSA                                |
| 05/08/2024 | ARSTECH010 | 08:20      |  | 10:39 REAR FLAP TATIUS F3R                         |
| 05/08/2024 | ARSTECH010 | 10:15      |  | 10:30 PRIMA PAUSA                                  |
| 05/08/2024 | ARSTECH010 | 10:39      | non finisce nel turno del 5/08                                   | ALA ORECA GT3                                      |
| 05/08/2024 | ARSTECH010 | 12:32      |  | 13:30 PAUSA PRANZO                                 |
| 05/08/2024 | ARSTECH010 | 13:39      | non finisce nel turno del 5/08                                   | INIZIA ALTRO COMPONENTE NON DI MIO INTERESSE       |
| 05/08/2024 | ARSTECH010 | 15:08      |  | 15:23 SECONDA PAUSA                                |
| 06/08/2024 | ARSTECH010 | 08:19      |  | 13:54 ALA ORECA GT3                                |
| 06/08/2024 | ARSTECH010 | 09:58      |  | 10:13 PRIMA PAUSA                                  |
| 06/08/2024 | ARSTECH010 | 12:30      |  | 13:30 PAUSA PRANZO                                 |
| 06/08/2024 | ARSTECH010 | 15:33      |  | 15:20 SECONDA PAUSA                                |
| 07/08/2024 | ARSTECH014 | 14:33      | non finisce nel turno del 7/08                                   | BRANCARDO HELEN                                    |
| 07/08/2024 | ARSTECH014 | 10:00      |  | 10:15 PRIMA PAUSA                                  |
| 07/08/2024 | ARSTECH014 | 12:30      |  | 13:30 PAUSA PRANZO                                 |
| 07/08/2024 | ARSTECH014 | 15:30      |  | 15:45 SECONDA PAUSA                                |
| 08/08/2024 | ARSTECH014 | 08:25      | op commette errore con senso fibra dime e deve riniziare da capo | BRANCARDO HELEN                                    |
| 08/08/2024 | ARSTECH014 | 11:13      | non finisce nel turno del 8/08 perché l'ha dovuto ricominciare   | BRANCARDO HELEN                                    |

Figura 63- Tabella per la raccolta di data, operatore e orario di inizio e fine dell'evento/prodotto per ogni monitoraggio

Per quanto possibile, per effettuare un'analisi a 360°, si è cercato di fare in modo che i monitoraggi coinvolgessero:

- Lo stesso operatore con lo stesso componente in date differenti;
- Lo stesso operatore con componenti di diversa complessità in date differenti;
- Operatori differenti con lo stesso componente in date differenti;
- La presenza di più workers nello stesso turno lavorativo.

Infine, di sotto è riportato a titolo di esempio un template compilato durante l'attività di laminazione monitorata. [27] [28]

| ALA ORECA GT3                                  |             |             |                   | DATA INIZIO:   | 05/08/2024 |
|--|-------------|-------------|-------------------|--|------------|
| LIVELLO CRITICITA' GESTIONALE:                 |             |             |                   | DATA FINE:   | 06/08/2024 |
| OPERATORE:                                     | ARSTECH010  | 2           |                   |  |            |
| LIVELLO CRITICITA' A DETTA OPERATORE:          |             | 1           |                   |  |            |
| FASE PIU' CRITICA A DETTA OPERATORE:           | CHIUSURA    |             |                   |  |            |
| WORKERS:                                       |             | 1           |                   |  |            |
| <b>INIZIO LAMINAZIONE STAMPO INFERIORE S10</b> |             |             |                   |  |            |
| ORARIO INIZIO                                  | ORARIO FINE | DESCRIZIONE | NOTE              |  |            |
| ALTR0  | 10:39       | 10:51       | (ALTRO)           | PREPARAZIONE PER LAMINAZIONE                         |            |
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE        | 10:51       | 10:56       | (GENERALE)        |  |            |
| PREPARAZIONE AL VUOTO                          | 10:56       | 11:08       |                   |  |            |
| ALTR0  | 11:28       | 11:29       | (ALTRO)           | APERTURA SACCO                                       |            |
| ALTR0  | 11:29       | 11:35       | (ALTRO)           | RIFILATURA   |            |
| INSERIMENTO RINFORZO                           | 11:35       | 11:54       | (RINFORZO)        | RINFORZO GENERALE                                    |            |
| INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO               | 11:54       | 12:01       | (LOCALIZZATO)     |  |            |
| INSERIMENTO FILM DEFINITIVO                    | 12:01       | 12:14       | (FILM DEFINITIVO) | DOPO IL FILM DEFINITIVO S10 FA IL CICLO NARCISO      |            |
| ALTR0  | 12:14       | 12:16       | (ALTRO)           | TRASPORTO STAMPO INFERIORE SU CARRELLO               |            |
| ALTR0  | 08:19       | 08:35       | (ALTRO)           | PREPARAZIONE PER LAMINAZIONE                         |            |
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE        | 08:35       | 08:47       | (GENERALE)        |  |            |
| INSERIMENTO RINFORZO                           | 08:47       | 08:54       | (RINFORZO)        | UD-300GR GENERALE CHE NON E' ROTOLINO UD LOCALIZZATO |            |
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE        | 08:54       | 08:58       | (GENERALE)        |  |            |
| INSERIMENTO RINFORZO                           | 08:58       | 09:04       | (RINFORZO)        | UD-300GR GENERALE CHE NON E' ROTOLINO UD LOCALIZZATO |            |
| INSERIMENTO RINFORZO                           | 09:04       | 09:08       | (RINFORZO)        | RINFORZO GENERALE                                    |            |
| INSERIMENTO RINFORZO                           | 09:08       | 09:11       | (RINFORZO)        | RINFORZINI   |            |
| PREPARAZIONE AL VUOTO                          | 09:11       | 09:23       |                   |  |            |
| RIVESTIMENTO INSERTI E/O RIEMPIATIVI           | 10:44       | 11:10       | (RIVESTIMENTO)    | RIVESTIMENTO INSERTI E RIEMPIATIVI                   |            |
| ALTR0  | 11:10       | 11:20       | (ALTRO)           | APERTURA SACCO+RIFILARE                              |            |
| INSERIMENTO INSERTI                            | 11:20       | 11:25       | (INSERTI)         |  |            |
| INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO               | 11:25       | 11:27       | (LOCALIZZATO)     |  |            |
| INSERIMENTO RINFORZO                           | 11:27       | 11:30       | (RINFORZO)        |  |            |
| INSERIMENTO INSERTI                            | 11:30       | 11:33       | (INSERTI)         |  |            |
| INSERIMENTO RIEMPIATIVO                        | 11:33       | 11:39       | (ROHACELL)        |  |            |
| INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO               | 11:39       | 11:42       | (LOCALIZZATO)     |  |            |
| INSERIMENTO FILM DEFINITIVO                    | 11:42       | 11:45       | (FILM DEFINITIVO) |  |            |
| PREPARAZIONE AL VUOTO                          | 11:45       | 11:53       |                   |  |            |
| ALTR0  | 11:53       | 11:59       | (ALTRO)           | PREPARAZIONE MATERIALE                               |            |
| ALTR0  | 11:59       | 12:03       | (ALTRO)           | APERTURA SACCO                                       |            |
| RIVESTIMENTO INSERTI E/O RIEMPIATIVI           | 12:03       | 12:09       | (RIVESTIMENTO)    | RIVESTIMENTO INSERTI CON FILM                        |            |
| INSERIMENTO SACCHETTO                          | 12:09       | 12:13       | (SACCHETTO)       | CAMERA D'ARIA  |            |
| ALTR0  | 12:13       | 12:30       | (ALTRO)           | PREPARAZIONE PER ASSEMBLAGGIO                        |            |
| ASSEMBLAGGIO                                   | 12:30       | 13:41       | (ASSEMBLAGGIO)    | ASSEMBLAGGIO S10-S20                                 |            |
| INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO               | 13:41       | 13:44       | (LOCALIZZATO)     |  |            |
| INSERIMENTO FILM DEFINITIVO                    | 13:44       | 13:53       | (FILM DEFINITIVO) |  |            |
| ALTR0  | 13:53       | 13:54       | (ALTRO)           | PORTA IL COMPONENTE IN AUTOCLAVE                     |            |

| <b>INIZIO LAMINAZIONE STAMPO SUPERIORE S20</b>  |             |             |                   |  |  |
|---|-------------|-------------|-------------------|--|--|
| ORARIO INIZIO                                   | ORARIO FINE | DESCRIZIONE | NOTE              |  |  |
| ALTR0   | 11:08       | 11:11       | (ALTRO)           | PREPARAZIONE PER LAMINAZIONE                         |  |
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE         | 11:11       | 11:14       | (GENERALE)        |  |  |
| PREPARAZIONE AL VUOTO                           | 11:14       | 11:28       |                   |  |  |
| ALTR0   | 12:16       | 12:17       | (ALTRO)           | APERTURA SACCO                                       |  |
| ALTR0   | 12:17       | 12:20       | (ALTRO)           | RIFILATURA   |  |
| INSERIMENTO RINFORZO(O MATERIALE PRINCIPALE???) | 12:20       | 12:27       | (RINFORZO)        |  |  |
| INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO                | 12:27       | 12:32       | (LOCALIZZATO)     |  |  |
| INSERIMENTO FILM DEFINITIVO                     | 12:32       | 13:36       | (FILM DEFINITIVO) | DOPO IL FILM DEFINITIVO S20 FA IL CICLO NARCISO      |  |
| ALTR0   | 13:36       | 13:39       | (ALTRO)           | TRASPORTO STAMPO INFERIORE E SUPERIORE IN AUTOCLAVE  |  |
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE         | 09:26       | 09:33       | (GENERALE)        |  |  |
| ASSEMBLAGGIO                                    | 09:33       | 09:44       | (ASSEMBLAGGIO)    | MONTAGGIO FINTA BATTUTA PER LABBRO                   |  |
| INSERIMENTO RINFORZO                            | 09:44       | 09:49       | (RINFORZO)        | UD-300GR GENERALE CHE NON E' ROTOLINO UD LOCALIZZATO |  |
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE         | 09:49       | 09:52       | (GENERALE)        |  |  |
| INSERIMENTO RINFORZO                            | 09:52       | 09:56       | (RINFORZO)        | UD-300GR GENERALE CHE NON E' ROTOLINO UD LOCALIZZATO |  |
| INSERIMENTO RINFORZO                            | 10:13       | 10:23       | (RINFORZO)        | RINFORZO GENERALE                                    |  |
| INSERIMENTO RINFORZO                            | 10:23       | 10:29       | (RINFORZO)        | RINFORZINI   |  |
| INSERIMENTO FILM DEFINITIVO                     | 10:29       | 10:35       | (FILM DEFINITIVO) |  |  |
| PREPARAZIONE AL VUOTO                           | 10:35       | 10:44       |                   |  |  |

Figura 64-Template compilato di un monitoraggio

## **2.3 VALUTAZIONE DELL'ERGONOMIA FISICA NEL REPARTO AUTOCLAVE**

L'oggetto di studio dell'ergonomia fisica è stato un altro dei reparti cardine dell'azienda: l'autoclave. Quest'ultimo è dotato di tecnologie, chiamate appunto autoclavi, che consentono la polimerizzazione della resina presente sui componenti in carbonio, ossia la "cottura" del pezzo, tramite la gestione dei livelli di temperatura, vuoto e pressione. Il processo di polimerizzazione si compone di tre fasi:

- 1) Fase di preriscaldamento;
- 2) Fase di cottura;
- 3) Fase di raffreddamento.

Nella fase di preriscaldamento, la temperatura e la pressione interna dell'autoclave iniziano ad aumentare e parte il vuoto sul componente, tramite delle valvole, che comporta l'aspirazione dell'aria all'interno del sacco. Una volta che il pezzo raggiunge la pressione atmosferica di 1 bar, si stacca l'azione del vuoto e si fa agire soltanto la pressione all'interno dell'autoclave che può raggiungere anche gli 8 bar. Raggiunta la temperatura di 125°C, termina la fase di preriscaldamento e inizia la polimerizzazione della resina, ossia la fase di cottura del componente. A questo punto, la temperatura e la pressione interna restano per lo più costanti fino a quando si arriva alla fase di raffreddamento, dove la temperatura scende a 50/60°C e inizia lo scarico della pressione verso l'esterno tramite l'apertura di una valvola posteriore. Una volta che la pressione arriva a 0 bar, viene aperto il portellone dell'autoclave e raggiunti i 30/35°C si scarica il componente cotto. La scelta di effettuare un'analisi di ergonomia fisica in questo reparto è legata alla necessità di ARSTECH di ottenere una valutazione posturale delle attività di messa in posa dell'assorbitore e del sottovuoto, che precedono il caricamento del componente in autoclave, sia per un componente carrellato che per uno non carrellato. L'obiettivo è ottenere un indice di rischio per queste attività e successivamente mitigarlo, valutando i possibili benefici che l'uso di un carrello potrebbe offrire in termini di miglioramento della postura. L'assorbitore, avvolto attorno al pezzo, ha una triplice funzione: proteggere il componente, fungere da aeratore e assorbire la resina che fuoriesce durante la polimerizzazione in autoclave. L'attività di sottovuoto, invece, prevede l'aspirazione dell'aria dopo aver inserito il sacco attorno al pezzo. In entrambe le fasi è fondamentale cugnare gli spigoli e le parti cave del componente, in modo da non lasciare alcuna zona scoperta e questo, spesso, comporta l'assunzione da parte dell'operatore di posture poco ergonomiche.



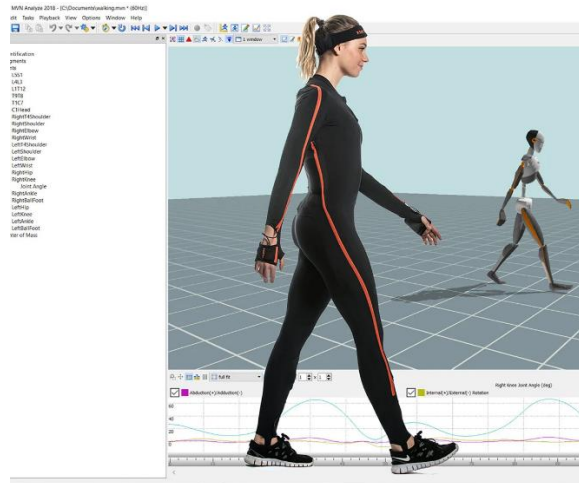
*Figura 65-Attività di inserimento dell'assorbitore e del sottovuoto nel reparto autoclave*

### **2.3.1 DESCRIZIONE DEL MONITORAGGIO E DELLA SENSORISTICA UTILIZZATA**

Lo studio di ergonomia fisica ha previsto:

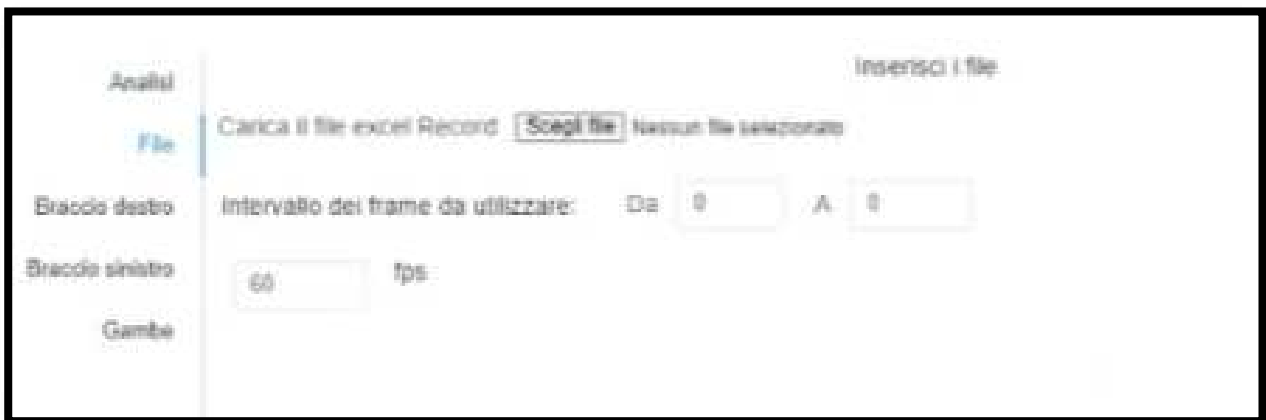
- Due giornate di monitoraggio per la raccolta dei dati con l'utilizzo di una sensoristica avanzata;
- Analisi ed interpretazione dei risultati.

Per la raccolta degli angoli articolari, fondamentali per l'analisi di ergonomia fisica, è stata utilizzata la tecnologia avanzata di motion capture Xsens capace di registrare in tempo reale, fino a 60 Fps (Frame al secondo) e con estrema precisione, il movimento della persona che la indossa grazie a sensori inerziali applicabili sul corpo. Xsens è dotata di 17 sensori wireless, montati sul corpo tramite cinghie regolabili. Per garantire una corretta acquisizione del movimento, è essenziale che i sensori siano posizionati nei punti esatti e rimangano stabili. La tecnologia Xsens registra dati di alta qualità ed è in grado di catturare dai più piccoli sussulti ai movimenti altamente dinamici. A supporto dell'hardware, un software dedicato, chiamato Xsens Analyze, permette di calibrare i movimenti, verificare il corretto posizionamento dei sensori e visualizzare un omino digitale 3D che riproduce, in tempo reale, i movimenti della persona monitorata.



**Figura 66-Tecnologia Xsens e software Xsens Analyze**

Per il calcolo dell'indice di rischio è stato utilizzato il metodo REBA, compilato in maniera automatica grazie ad un Tool progettato dal gruppo di ricerca dell'Università Politecnica Delle Marche che si presenta con una prima sezione dedicata al caricamento del file Excel, contenente i dati raccolti, esportato dal software Xsens, come mostrato nell'immagine sottostante:



**Figura 67-Interfaccia 1 Tool REBA**

Una volta caricato il file, è possibile scegliere l'intervallo dei frame da analizzare e la quantità di frame al secondo che vogliamo esportare; nel caso in questione è stata inserita la quantità 6 fps.

Successivamente, il Tool presenta tre sezioni dedicate all'inserimento manuale delle informazioni relative a braccio destro, sinistro e gambe, come mostrato nelle presenti immagini:

The screenshot shows the 'Braccio destro' section of the REBA tool. On the left, a vertical menu lists 'Analisi', 'File', 'Braccio destro', 'Braccio sinistro', and 'Gambe', with 'Braccio destro' selected. The main area contains the following settings: 'supporto' with radio buttons for 'Si' and 'No' (selected), and a 'Sempre' toggle switch that is turned on.

The screenshot shows the 'Braccio sinistro' section of the REBA tool. The vertical menu on the left has 'Braccio sinistro' selected. The main area contains the following settings: 'supporto' with radio buttons for 'Si' and 'No' (selected), and a 'Sempre' toggle switch that is turned on. Below this, 'Qualità della presa' is set to '+0 buona' with a dropdown arrow, and another 'Sempre' toggle switch is turned on.

The screenshot shows the 'Gambe' section of the REBA tool. The vertical menu on the left has 'Gambe' selected. The main area contains the following settings: 'Seduto' with radio buttons for 'Si' and 'No' (selected), and a 'Sempre' toggle switch that is turned on. Below this, 'bilanciate' has radio buttons for 'Si' (selected) and 'No', and a 'Sempre' toggle switch that is turned on. At the bottom, 'tipo di carico' is set to '< 5 kg' with a dropdown arrow, followed by a 'Sempre' toggle switch that is turned on and a 'Shock' toggle switch that is turned off.

**Figura 68-Interfaccia 2 Tool REBA**

Le interfacce riportate sono quelle di default e sono state modificate in base a quanto osservato nella riproduzione video dell'attività monitorata. Le voci riportate fanno riferimento ad alcuni step del metodo REBA, ossia lo step 7 (relativo alla posizione del braccio), lo step 11 (relativo alla qualità della presa), lo step 13 (relativo al punteggio attività), lo step 3 (relativo alle gambe) e lo step 5 (relativo al punteggio forza/carico). Terminato l'inserimento manuale, con un click il Tool fornisce i risultati della valutazione posturale. [29]

### **3. RISULTATI ERGONOMIA COGNITIVA IN LAMINAZIONE**

Per l'interpretazione dei risultati ottenuti, è stata effettuata una caratterizzazione dei componenti oggetti di studio, tramite delle interviste, che ha previsto la creazione di schede prodotto. Queste sono state utilizzate per fare delle valutazioni sulle informazioni emerse dai questionari e saranno uno strumento per fare delle considerazioni più approfondite quando saranno pronti gli algoritmi di machine learning. Il livello di criticità del componente, secondo gli operatori e i team leader, utilizza la stessa scala definita dal gestionale dell'azienda, riportata nel capitolo 2.2.2.

Il primo componente individuato, l'ALA ORECA GT3, possiede un livello di criticità a Gestionale pari a 2. I due team leader dell'azienda, ex laminatori, hanno confermato la presenza di criticità nella laminazione del pezzo, dichiarando rispettivamente un livello pari a 2 e 3. La discrepanza è dovuta alla soggettività nella percezione del livello di complessità, oltre che alla diversa conoscenza ed esperienza del pezzo. L'operatrice ARSTECH010, monitorata nello studio di ergonomia cognitiva, ha invece dichiarato un livello di complessità pari a 1, spiegando di conoscere questo componente a memoria. Oltre alla ripetitività con cui lavora l'ALA ORECA GT3, è importante considerare la sua esperienza nel settore della laminazione del carbonio che conta ben 16 anni. Inoltre, ha comunicato che la fase più critica di questo componente è quella finale relativa alla chiusura. In generale, i team leader hanno identificato alcune fasi della laminazione come particolarmente critiche per tutti i componenti. Tra queste figurano la chiusura, l'inserimento del sacchetto e il posizionamento delle dime principali di carbonio su componenti particolarmente estetici. In aggiunta, per una caratterizzazione del prodotto più dettagliata, sono state considerate le singole fasi del processo di laminazione, a cui i due team leader, l'operatrice monitorata e gli operatori non monitorati che però conoscono il pezzo hanno assegnato un punteggio su una scala qualitativa da 1 a 5, così definita:

- Punteggio 1 = LIVELLO DI CRITICITA' MOLTO BASSO;
- Punteggio 2 = LIVELLO DI CRITICITA' BASSO;
- Punteggio 3 = LIVELLO DI CRITICITA' MEDIO;
- Punteggio 4 = LIVELLO DI CRITICITA' ALTO;
- Punteggio 5 = LIVELLO DI CRITICITA' MOLTO ALTO.

Dall'intervista sono emersi i seguenti risultati:

| FASI LAMINAZIONE                        | LIV CRITICITA' TL1 | LIV CRITICITA' TL2 | LIV CRITICITA' ARSTECH010 | LIV CRITICITA' OP_1 |
|---|--------------------|--------------------|---------------------------|---------------------|
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE | 2                  | 3                  | 1                         | 2                   |
| PREPARAZIONE AL VUOTO                   | 2                  | 2                  | 1                         | 1                   |
| INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO        | 2                  | 2                  | 1                         | 2                   |
| RIVESTIMENTO INSERTI E/O RIEMPTIVI      | 1                  | 2                  | 1                         | 1                   |
| INSERIMENTO INSERTI                     | 3                  | 3                  | 1                         | 2                   |
| INSERIMENTO RIEMPTIVI                   | 3                  | 2                  | 1                         | 2                   |
| INSERIMENTO RINFORZI                    | 2                  | 2                  | 1                         | 1                   |
| INSERIMENTO SACCHETTO                   | 5                  | 5                  | 1                         | 3                   |
| INSERIMENTO FILM DEFINITIVO             | 3                  | 1                  | 1                         | 2                   |
| ASSEMBLAGGIO/CHIUSURA                   | 5                  | 5                  | 2                         | 3                   |

**Figura 69-Intervista sul livello di criticità per fase del componente ALA ORECA GT3**

I punteggi per ciascuna fase, dichiarati dagli intervistati, sono in linea con quanto riferito per il componente nel suo complesso. Entrambi i team leader hanno evidenziato l'elevata complessità delle fasi di sacchetto e chiusura, attribuendo loro un punteggio pari a 5. L'operatrice OP\_1, anch'essa con un elevato numero di anni di esperienza in questo settore, ha riportato punteggi leggermente più alti rispetto all'operatrice ARSTECH010, mantenendosi comunque su un livello di criticità percepita piuttosto basso per il componente.



**Figura 70-Componente ALA ORECA GT3**

Il componente ALA TATUUS EUROPA ha un livello di criticità a Gestionale pari a 1, confermato anche dai due team leader. Gli operatori ARSTECH009, ARSTECH015 e ARSTECH019, monitorati durante lo studio, sono coinvolti nella fase di formazione, durante la quale si occupano principalmente di questo componente per acquisire dimestichezza con il processo di laminazione. Pertanto, per via della semplicità oggettiva della laminazione del pezzo e della ripetitività con cui lo lavorano, tutti e tre hanno riferito un livello di complessità pari a 1. Inoltre, per le fasi più critiche è stata evidenziata la chiusura per ARSTECH009 e ARSTECH015, con l'aggiunta, per quest'ultimo, anche della preparazione al vuoto, che rappresenta la fase più critica per l'operatore ARSTECH019. L'intervista sulla criticità per singola fase ha riportato le seguenti informazioni:

| FASI LAMINAZIONE                        | LIV CRITICITA' TL1 | LIV CRITICITA' TL2 | LIV CRITICITA' ARSTECH009 | LIV CRITICITA' ARSTECH019 | LIV CRITICITA' ARSTECH015 |
|---|--------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE | 1                  | 1                  | 1                         | 1                         | 1                         |
| PREPARAZIONE AL VUOTO                   | 1                  | 1                  | 3                         | 3                         | 3                         |
| INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO        | 1                  | 1                  | 2                         | 2                         | 2                         |
| RIVESTIMENTO INSERTI E/O RIEMPITIVI     | 1                  | 1                  | 1                         | 1                         | 1                         |
| INSERIMENTO INSERTI                     | 3                  | 1                  | 1                         | 1                         | 1                         |
| INSERIMENTO RIEMPITIVI                  | 3                  | 1                  | 1                         | 1                         | 1                         |
| INSERIMENTO RINFORZI                    | 1                  | 1                  | 1                         | 1                         | 1                         |
| INSERIMENTO SACCHETTO                   | 5                  | 5                  | 3                         | 2                         | 2                         |
| INSERIMENTO FILM DEFINITIVO             | 1                  | 1                  | 1                         | 1                         | 1                         |
| ASSEMBLAGGIO/ CHIUSURA                  | 5                  | 5                  | 4                         | 2                         | 3                         |

**Figura 71-Intervista sul livello di criticità per fase del componente ALA TATUUS EUROPA**

I due team leader, come evidenziato nella tabella sopra, sottolineano la criticità delle fasi di inserimento del sacchetto e di chiusura, nonostante la facilità della laminazione del componente. Questo perché, secondo loro, indipendentemente dal tipo di componente, anche un piccolo errore in queste fasi può portare allo scarto del pezzo. Gli operatori monitorati hanno dichiarato punteggi in linea con quanto riferito per il componente nel suo complesso.



**Figura 72-Componente ALA TATUUS EUROPA**

Il componente BRANCARDO HELEN possiede un livello di criticità a Gestionale pari a 2, confermato anche dai team leader e dall'operatrice monitorata ARSTECH014. Secondo quest'ultima, le fasi più delicate sono quelle dell'inserimento del sacchetto e della chiusura, in accordo con quanto dichiarato dai team leader. Dall'intervista sono emersi i seguenti risultati:

| FASI LAMINAZIONE                        | LIV CRITICITA' TL1 | LIV CRITICITA' TL2 | LIV CRITICITA' ARSTECH014 | LIV CRITICITA' ARSTECH010 | LIV CRITICITA' OP_2 |
|---|--------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE | 3                  | 4                  | 2                         | 5                         | 2                   |
| PREPARAZIONE AL VUOTO                   | 3                  | 3                  | 3                         | 4                         | 1                   |
| INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO        | 3                  | 3                  | 2                         | 3                         | 2                   |
| RIVESTIMENTO INSERTI E/O RIEMPTIVI      | 1                  | 1                  | 1                         | 1                         | 1                   |
| INSERIMENTO INSERTI                     | 3                  | 1                  | 1                         | 1                         | 1                   |
| INSERIMENTO RIEMPTIVI                   | 3                  | 1                  | 1                         | 1                         | 1                   |
| INSERIMENTO RINFORZI                    | 2                  | 2                  | 2                         | 2                         | 1                   |
| INSERIMENTO SACCHETTO                   | 5                  | 5                  | 4                         | 3                         | 2                   |
| INSERIMENTO FILM DEFINITIVO             | 2                  | 3                  | 3                         | 1                         | 1                   |
| ASSEMBLAGGIO/CHIUSURA                   | 5                  | 5                  | 4                         | 3                         | 2                   |

**Figura 73-Intervista sul livello di criticità per fase del componente BRANCARDO HELEN**

I punteggi forniti dai due team leader e dall'operatrice monitorata risultano congruenti con quanto riportato per il componente nel suo complesso. L'operatrice ARSTECH010 ha segnalato un livello di complessità percepito più alto rispetto all'operatrice ARSTECH014, a causa della minore ripetitività nella laminazione di questo pezzo. L'operatrice OP\_2, invece, ha riferito punteggi nettamente più bassi rispetto agli altri intervistati, poiché, secondo quanto dichiarato, ha una buona dimestichezza con il componente e molti anni di esperienza nel settore.



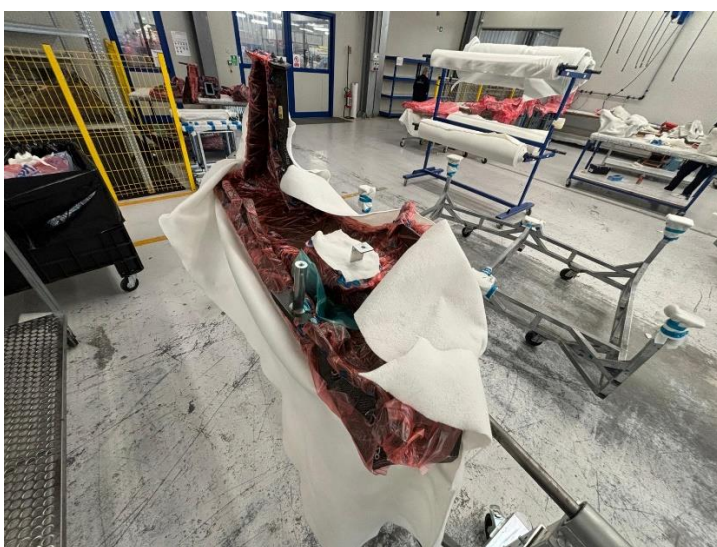
**Figura 74-Componente BRANCARDO HELEN**

Il componente FENDER PAMELA ha un livello di criticità a Gestionale pari a 3, confermato dai due team leader. Le operatrici ARSTECH012 e ARSTECH013, monitorate durante lo studio, hanno riportato rispettivamente un punteggio di 3 e 2. La differenza è attribuibile, secondo quanto riferito, all'esperienza di laminazione con quel pezzo, che risulta essere maggiore per la seconda operatrice. Inoltre, le fasi più critiche evidenziate sono state la chiusura e l'inserimento del sacchetto per ARSTECH012 e ARSTECH013, con l'aggiunta, per quest'ultima, della preparazione al vuoto. L'intervista ha riportato i seguenti risultati:

| FASI LAMINAZIONE                        | LIV CRITICITA' TL1 | LIV CRITICITA' TL2 | LIV CRITICITA' ARSTECH012 | LIV CRITICITA' ARSTECH013 | LIV CRITICITA' ARSTECH021 | LIV CRITICITA' OP_3 | LIV CRITICITA' OP_4 |
|---|--------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE | 5                  | 3                  | 4                         | 3                         | 3                         | 3                   | 1                   |
| PREPARAZIONE AL VUOTO                   | 3                  | 2                  | 3                         | 4                         | 1                         | 2                   | 2                   |
| INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO        | 3                  | 2                  | 3                         | 2                         | 3                         | 1                   | 1                   |
| RIVESTIMENTO INSERTI E/O RIEMPTIVI      | 1                  | 1                  | 1                         | 1                         | 1                         | 1                   | 1                   |
| INSERIMENTO RIEMPTIVI                   | 3                  | 2                  | 3                         | 3                         | 2                         | 1                   | 1                   |
| INSERIMENTO RINFORZI                    | 3                  | 2                  | 3                         | 2                         | 2                         | 1                   | 1                   |
| INSERIMENTO SACCHETTO                   | 5                  | 5                  | 5                         | 4                         | 5                         | 4                   | 3                   |
| INSERIMENTO FILM DEFINITIVO             | 2                  | 3                  | 3                         | 2                         | 3                         | 3                   | 1                   |
| ASSEMBLAGGIO/CHIUSURA                   | 5                  | 5                  | 5                         | 4                         | 5                         | 4                   | 3                   |

**Figura 75-Intervista sul livello di criticità per fase del componente FENDER PAMELA**

Nonostante il medesimo livello di criticità complessivo assegnato al componente dai team leader, i punteggi relativamente più bassi assegnati dal team leader\_2 rispetto a quelli del team leader\_1 sono giustificati dal fatto che una fase può essere percepita come più critica da una persona rispetto a un'altra. I valori riferiti dalle operatrici ARSTECH012 e ARSTECH013 rispecchiano quanto dichiarato per il pezzo nel suo complesso. Le altre laminatrici intervistate concordano sul fatto che l'inserimento del sacchetto e la chiusura siano tra le fasi più critiche.



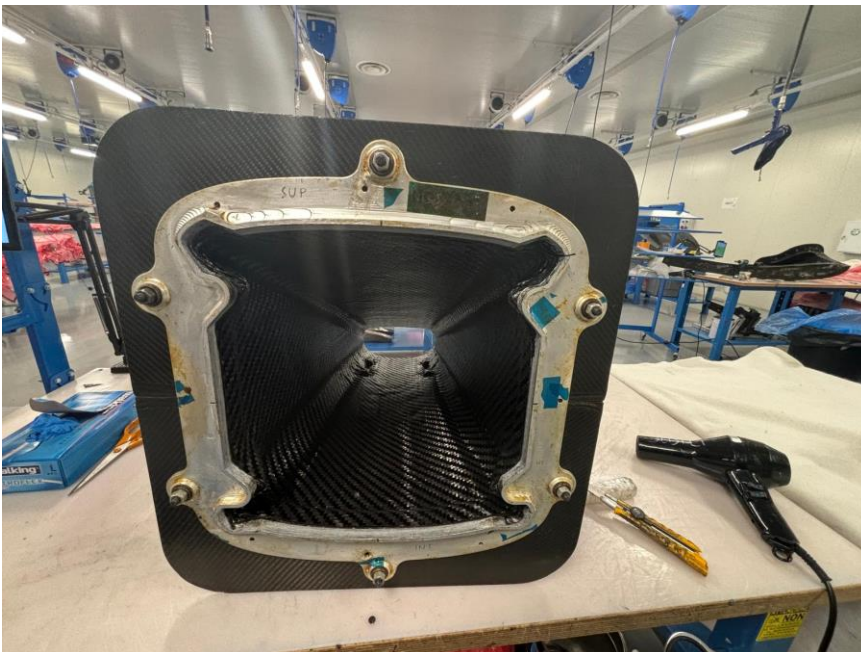
**Figura 76-FENDER PAMELA**

Al componente MUSESTO TATUUS è stato assegnato da Gestionale un punteggio di criticità pari a 1. Il parere dei team leader non è lo stesso, ma la collocazione del componente rimane su una complessità medio-bassa. Le operatrici ARSTECH014 e ARSTECH022 risultano essere d'accordo con il punteggio stabilito dal Gestionale. Il MUSESTO TATUUS è uno dei componenti che, entrambe, laminano più spesso, per cui non riscontrano alcuna complessità. Inoltre, per le fasi più critiche, è stato evidenziato l'inserimento degli inserti per ARSTECH022 e ARSTECH014, con l'aggiunta, per quest'ultima, dell'inserimento degli ultimi due strati di materiale principale. Dall'intervista si sono raccolte le seguenti informazioni:

| FASI LAMINAZIONE                        | LIV CRITICITA' TL1 | LIV CRITICITA' TL2 | LIV CRITICITA' ARSTECH014 | LIV CRITICITA' ARSTECH022 | LIV CRITICITA' OP_5 | LIV CRITICITA' OP_6 | LIV CRITICITA' OP_7 |
|---|--------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE | 2                  | 2                  | 3                         | 2                         | 1                   | 1                   | 2                   |
| PREPARAZIONE AL VUOTO                   | 2                  | 2                  | 2                         | 2                         | 2                   | 1                   | 1                   |
| INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO        | 2                  | 2                  | 2                         | 2                         | 1                   | 1                   | 1                   |
| RIVESTIMENTO INSERTI E ORIEPITIVI       | 1                  | 1                  | 1                         | 1                         | 1                   | 2                   | 2                   |
| INSERIMENTO INSERTI                     | 3                  | 3                  | 3                         | 3                         | 1                   | 3                   | 3                   |
| INSERIMENTO RIEPITIVI                   | 3                  | 3                  | 2                         | 2                         | 2                   | 3                   | 2                   |
| INSERIMENTO RINFORZI                    | 2                  | 2                  | 2                         | 2                         | 1                   | 2                   | 2                   |
| INSERIMENTO FILM DEFINITIVO             | 2                  | 2                  | 2                         | 2                         | 1                   | 1                   | 1                   |

**Figura 77-Intervista sul livello di criticità per fase del componente MUSESTO TATUUS**

I risultati ottenuti sono coerenti con quanto riferito per il componente nel suo complesso. I punteggi tendenzialmente bassi per le singole fasi confermano la bassa criticità percepita del pezzo.



**Figura 78-Componente MUSESTO TATUUS**

Il componente ORECA UNDERFLOOR LMP2C possiede un livello di criticità a Gestionale pari a 3, confermato da uno dei due team leader. L'altro team leader, invece, ha riferito un punteggio pari a 2. La discrepanza è legata al carattere soggettivo dell'intervista. L'operatrice ARSTECH017, monitorata, ha dichiarato un livello di criticità in linea con quello del Gestionale e ha definito come fase più critica quella finale, ossia la chiusura. Dall'intervista sulle singole fasi sono emerse le seguenti informazioni:

| FASI LAMINAZIONE                        | LIVCRITICITA' TL1 | LIVCRITICITA' TL2 | LIVCRITICITA' ARSTECH017 | LIVCRITICITA' OP_8 | LIVCRITICITA' OP_2 |
|---|-------------------|-------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE | 3                 | 3                 | 3                        | 4                  | 2                  |
| PREPARAZIONE AL VUOTO                   | 3                 | 3                 | 3                        | 2                  | 2                  |
| INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO        | 3                 | 2                 | 2                        | 2                  | 2                  |
| RIVESTIMENTO INSERTI E/O RIEMPTIVI      | 2                 | 3                 | 1                        | 1                  | 2                  |
| INSERIMENTO INSERTI                     | 3                 | 2                 | 3                        | 3                  | 2                  |
| INSERIMENTO RIEMPTIVI                   | 3                 | 3                 | 3                        | 3                  | 2                  |
| INSERIMENTO RINFORZI                    | 3                 | 2                 | 1                        | 3                  | 2                  |
| INSERIMENTO SACCHETTO                   | 3                 | 3                 | 1                        | 3                  | 1                  |
| INSERIMENTO FILM DEFINITIVO             | 3                 | 3                 | 2                        | 3                  | 2                  |
| CHIUSURA/ASSEMBLAGGIO                   | 5                 | 5                 | 4                        | 4                  | 2                  |

**Figura 79-Intervista sul livello di criticità per fase del componente ORECA UNDERFLOOR LMP2C**

I risultati ottenuti sono in linea con quanto riportato per il componente nel suo complesso. L'operatrice OP\_2 ha dichiarato punteggi di criticità per fase più bassi rispetto agli altri, attribuendo ciò al suo livello di conoscenza ed esperienza con il pezzo.



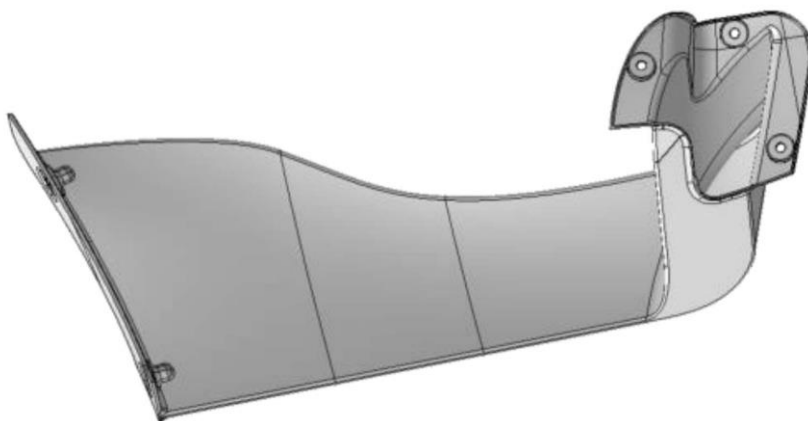
**Figura 80-Componente ORECA UNDERFLOOR LMP2C**

Il componente ORECA VANE ha un livello di criticità a Gestionale pari a 2, confermato dai due team leader. Le operatrici ARSTECH010 e ARSTECH020, monitorate, hanno riferito un punteggio pari a 1, dichiarando come fase più critica la chiusura. L'intervista ha riportato i seguenti risultati:

| FASI LAMINAZIONE                        | LIVCRITICITA' TL1 | LIVCRITICITA' TL2 | LIVCRITICITA' ARSTECH010 | LIVCRITICITA' ARSTECH020 | LIVCRITICITA' OP_9 |
|---|-------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE | 3                 | 2                 | 1                        | 1                        | 1                  |
| PREPARAZIONE AL VUOTO                   | 1                 | 1                 | 1                        | 1                        | 1                  |
| INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO        | 2                 | 2                 | 1                        | 1                        | 1                  |
| RIVESTIMENTO INSERTI E/O RIEMPTIVI      | 1                 | 1                 | 1                        | 1                        | 1                  |
| INSERIMENTO INSERTI                     | 2                 | 1                 | 1                        | 1                        | 1                  |
| INSERIMENTO RIEMPTIVI                   | 3                 | 3                 | 1                        | 1                        | 1                  |
| INSERIMENTO RINFORZI                    | 2                 | 2                 | 1                        | 1                        | 1                  |
| INSERIMENTO FILM DEFINITIVO             | 3                 | 2                 | 1                        | 1                        | 1                  |
| CHIUSURA/ASSEMBLAGGIO                   | 5                 | 5                 | 2                        | 2                        | 2                  |

*Figura 81-Intervista sul livello di criticità per fase del componente ORECA VANE*

I valori raccolti dai team leader confermano quanto riportato riguardo il componente nel suo complesso e mettono in evidenza una maggiore criticità nella fase di chiusura. Le operatrici intervistate, accomunate da un'elevata esperienza nel settore, sono tutte concordi nel definire tale componente di complessità molto bassa.



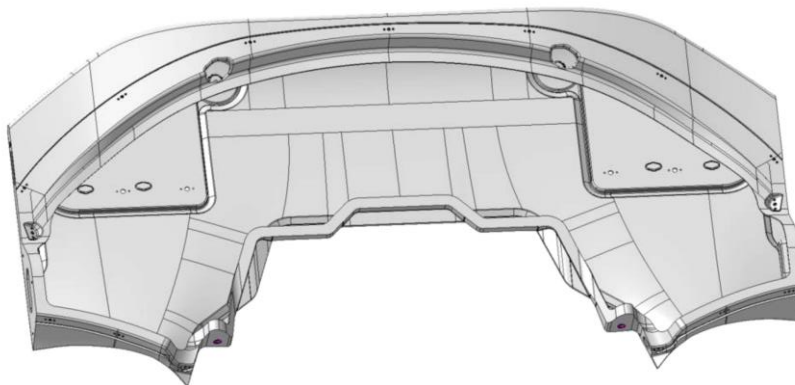
*Figura 82-Componente ORECA VANE*

Il componente SPLITTER ORECA GT3 possiede un livello di criticità a Gestionale pari a 2. I due team leader hanno confermato tale punteggio. L'operatrice ARSTECH016 monitorata, tuttavia, ha dichiarato un livello di complessità percepito pari a 1, indicando la fase di chiusura come la più critica, poiché conosce il componente a memoria grazie alla ripetitività con cui lo lamina. Dall'intervista sulle singole fasi sono emerse le seguenti informazioni:

| FASI LAMINAZIONE                        | LIVCRITICITA' TL1 | LIVCRITICITA' TL2 | LIVCRITICITA' ARSTECH016 | LIVCRITICITA' OP_10 |
|---|-------------------|-------------------|--------------------------|---------------------|
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE | 3                 | 3                 | 2                        | 1                   |
| PREPARAZIONE AL VUOTO                   | 3                 | 3                 | 4                        | 1                   |
| INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO        | 3                 | 2                 | 1                        | 2                   |
| RIVESTIMENTO INSERTI E/O RIEMPTIVI      | 1                 | 2                 | 1                        | 1                   |
| INSERIMENTO INSERTI                     | 3                 | 3                 | 2                        | 2                   |
| INSERIMENTO RIEMPTIVI                   | 3                 | 2                 | 1                        | 5                   |
| INSERIMENTO RINFORZI                    | 2                 | 2                 | 1                        | 1                   |
| INSERIMENTO SACCHETTO                   | 5                 | 5                 | 3                        | 3                   |
| INSERIMENTO FILM DEFINITIVO             | 3                 | 3                 | 3                        | 2                   |
| CHIUSURA/ASSEMBLAGGIO                   | 5                 | 5                 | 5                        | 3                   |

**Figura 83-Intervista sul livello di criticità per fase del componente SPLITTER ORECA GT3**

I risultati ottenuti dai team leader e dall'operatrice ARSTECH016 sono coerenti con quanto riportato per il componente nel suo complesso. L'operatrice OP\_10, invece, percepisce come fase più critica l'inserimento dei riempitivi.



**Figura 84-Componente SPLITTER ORECA GT3**

Il componente REAR FLAP TATUUS F3R ha un livello di criticità a Gestionale pari a 2, confermato da entrambi i team leader. L'operatrice ARSTECH010 ha dichiarato un punteggio pari a 1, definendo come fase più critica l'inserimento del sacchetto. Dall'intervista è emerso che:

| FASI LAMINAZIONE                        | LIVCRITICITA' TL1 | LIVCRITICITA' TL2 | LIVCRITICITA' ARSTECH010 |
|---|-------------------|-------------------|--------------------------|
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE | 2                 | 2                 | 2                        |
| PREPARAZIONE AL VUOTO                   | 1                 | 1                 | 1                        |
| INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO        | 2                 | 1                 | 2                        |
| RIVESTIMENTO INSERTI E/O RIEMPTIVI      | 1                 | 1                 | 1                        |
| INSERIMENTO INSERTI                     | 1                 | 2                 | 1                        |
| INSERIMENTO SACCHETTO                   | 5                 | 5                 | 3                        |
| INSERIMENTO FILM DEFINITIVO             | 1                 | 1                 | 1                        |
| CHIUSURA/ASSEMBLAGGIO                   | 5                 | 5                 | 2                        |

**Figura 85-Intervista sul livello di criticità per fase del componente REAR FLAP TATUUS F3R**

I due team leader evidenziano la criticità della fase di chiusura, oltre a quella dell'inserimento del sacchetto. L'operatrice ARSTECH10, inoltre, è in linea con quanto dichiarato per il componente nel suo complesso.



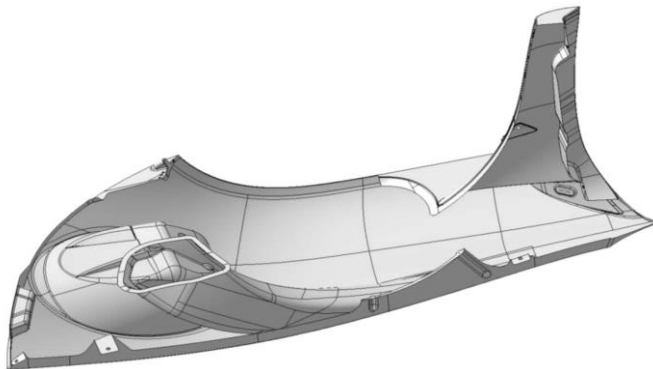
**Figura 86-Componente REAR FLAP TATUUS F3R**

Il componente FENDER PAMELA GT3 possiede un livello di criticità a Gestionale pari a 3, confermato dai due team leader. L'operatrice ARSTECH021, monitorata, ha riferito un livello di complessità percepito pari a 2, indicando la fase di chiusura come la più critica. L'intervista sul livello di criticità per singola fase ha riportato i seguenti risultati:

| FASI LAMINAZIONE                        | LIVCRITICITA' TL1 | LIVCRITICITA' TL2 | LIVCRITICITA' ARSTECH021 | LIVCRITICITA' ARSTECH013 | LIVCRITICITA' OP_11 |
|---|-------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE | 5                 | 4                 | 3                        | 4                        | 2                   |
| PREPARAZIONE AL VUOTO                   | 3                 | 2                 | 1                        | 2                        | 1                   |
| INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO        | 3                 | 3                 | 3                        | 2                        | 1                   |
| RIVESTIMENTO INSERTI E/O RIEMPTIVI      | 1                 | 2                 | 1                        | 1                        | 1                   |
| INSERIMENTO INSERTI                     | 3                 | 2                 | 2                        | 1                        | 1                   |
| INSERIMENTO RIEMPTIVI                   | 3                 | 2                 | 2                        | 1                        | 1                   |
| INSERIMENTO RINFORZI                    | 3                 | 2                 | 2                        | 2                        | 1                   |
| INSERIMENTO SACCHETTO                   | 5                 | 5                 | 4                        | 2                        | 3                   |
| INSERIMENTO FILM DEFINITIVO             | 2                 | 5                 | 4                        | 4                        | 4                   |
| CHIUSURA/ASSEMBLAGGIO                   | 5                 | 5                 | 5                        | 3                        | 3                   |

**Figura 87-Intervista sul livello di criticità per fase del componente FENDER PAMELA GT3**

Il team leader 1 ha evidenziato un livello di criticità molto alto, non solo per le fasi di chiusura e inserimento del sacchetto, ma anche per il posizionamento delle dime principali in carbonio. Il secondo team leader, invece, oltre al sacchetto e alla chiusura, ha sottolineato l'elevata delicatezza della fase di inserimento del film definitivo. L'operatrice ARSTECH021 risulta coerente con quanto dichiarato per il componente nel suo complesso. Inoltre, sia l'operatrice ARSTECH013 che l'operatrice OP\_11, in accordo con il team leader 2, percepiscono un'elevata criticità nell'inserimento del film definitivo.



**Figura 88-Componente FENDER PAMELA GT3**

Il componente REAR SPOILER SIMON ha un livello di criticità gestionale pari a 3, confermato da uno dei due team leader. L'altro team leader ha invece riportato un punteggio pari a 2. L'operatore ARSTECH003, grazie alla sua esperienza di 23 anni nel settore e alla ripetitività con cui ha laminato questo pezzo, ha dichiarato un livello di complessità pari a 1, indicando la fase di inserimento del sacchetto come la più critica. L'intervista ha riportato le seguenti informazioni:

| FASI LAMINAZIONE                        | LIV CRITICITA' TL1 | LIV CRITICITA' TL2 | LIV CRITICITA' ARSTECH003 | LIV CRITICITA' OP_6 |
|---|--------------------|--------------------|---------------------------|---------------------|
| INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE | 5                  | 2                  | 3                         | 1                   |
| PREPARAZIONE AL VUOTO                   | 2                  | 2                  | 2                         | 1                   |
| INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO        | 2                  | 2                  | 2                         | 3                   |
| INSERIMENTO RINFORZI                    | 2                  | 2                  | 1                         | 2                   |
| INSERIMENTO SACCHETTO                   | 5                  | 5                  | 5                         | 4                   |
| INSERIMENTO FILM DEFINITIVO             | 2                  | 2                  | 1                         | 1                   |
| CHIUSURA/ASSEMBLAGGIO                   | 5                  | 5                  | 4                         | 3                   |

**Figura 89-Intervista sul livello di criticità per fase del componente REAR SPOILER SIMON**

I risultati forniti dai team leader e dall'operatore ARSTECH003 sono in accordo con quanto riportato per il componente nel suo complesso. L'operatore OP\_6, inoltre, ha ribadito l'alta criticità nell'inserimento del sacchetto.

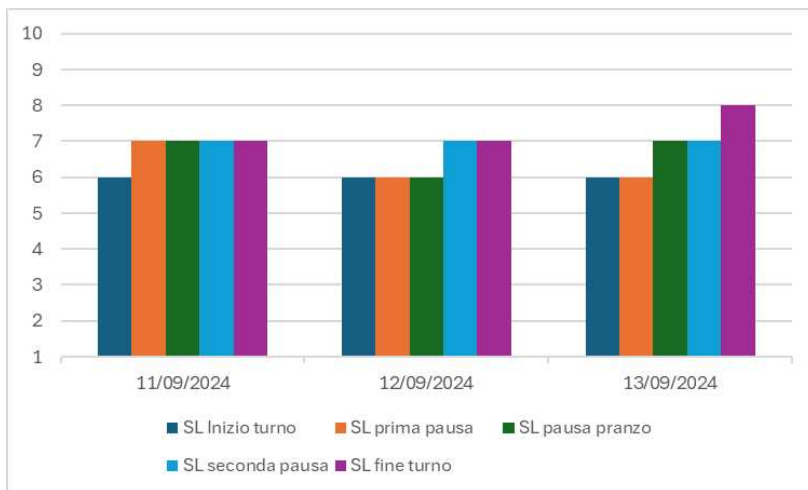


***Figura 90-Componente REAR SPOILER SIMON***

Dalla caratterizzazione dei componenti è emersa un'osservazione rilevante per lo studio: il livello di criticità definito dal sistema gestionale dell'azienda non può essere considerato un valore attendibile per valutare un'attività critica in relazione alla variazione dei parametri vitali. A causa dell'elevato grado di soggettività, le informazioni raccolte dai vari operatori, compresi i team leader, sulla complessità di un componente risultano molto variegate, dimostrando che i dati forniti dal gestionale non possono essere utilizzati come riferimento per l'analisi in questione. Sarebbe quindi necessaria una scala di criticità più precisa e puntuale, che tenga conto dell'attività e sia, soprattutto, personalizzata per l'operatore.

Per quanto riguarda l'analisi e l'interpretazione dei risultati ottenuti con il livello di stress percepito, il NASA TLX, lo STAI TRATTO e lo STAI DI STATO sono state utilizzate la scala qualitativa relativa al livello di stress percepito dall'operatore e le legende qualitative, di cui si è parlato nel capitolo 1.4.2.1.

Nei giorni 11/09/2024, 12/09/2024 e 13/09/2024 l'operatrice ARSTECH013 è stata monitorata durante la laminazione del componente FENDER PAMELA. Nella figura 93 sottostante sono riportati, per tutti e tre i giorni, i grafici che mostrano i risultati dello Stress Level riferito dall'operatrice in diversi momenti della giornata quali l'inizio turno, la prima pausa, la pausa pranzo, la seconda pausa e il fine turno.



**Figura 91-Risultati dello Stress Level riferito dall'operatrice in diversi momenti dei tre monitoraggi**

Si può notare subito che, in tutti e tre i monitoraggi, il livello di stress riferito a fine turno sia sempre maggiore rispetto a quello dichiarato a inizio turno. Quest'ultimo, che è pari a 6 in tutti e tre i giorni, secondo la scala qualitativa sopra definita, rappresenta un punteggio di stress medio-alto; ciò potrebbe indicare che l'operatrice tenda ad arrivare al lavoro già piuttosto stressata, oppure che la consapevolezza, all'inizio del turno, del componente che dovrà laminare le cause tale livello di stress. inoltre, dal questionario STAI DI STATO sono emersi i seguenti risultati riportati nella figura 94:

| DATA       | STAI DI STATO INIZIO TURNO | STAI DI STATO FINE TURNO |
|------------|----------------------------|--------------------------|
| 11/09/2024 | 43                         | 30                       |
| 12/09/2024 | 50                         | 57                       |
| 13/09/2024 | 53                         | 60                       |

**Figura 92-Risultati STAI DI STATO**

Salta subito all'occhio che, nei monitoraggi del 12/09/2024 e del 13/09/2024, i punteggi sia a inizio turno che a fine turno corrispondono, secondo una legenda qualitativa, ad una condizione di ansia alta. In aggiunta, analizzando il questionario STAI TRATTO è emerso uno score finale pari a 52, indicativo di una possibile propensione all'ansia alta. Quest'ultima informazione è coerente con il livello di stress riferito a inizio turno medio-alto in tutti e tre i monitoraggi, per cui tale punteggio potrebbe essere legato al carattere dell'operatrice. Come si può vedere dalla figura 93, l'operatrice ha riferito alla fine del turno del giorno 13/09/2024 un punteggio di stress pari a 8, che è il più alto presente nei tre monitoraggi; questo potrebbe essere legato a una o più delle seguenti fasi indicate nella figura 95 sottostante con una freccia rossa, rappresentante il template delle attività di laminazione effettuate nei rispettivi intervalli di tempo.

| Orari di inizio | Orari di fine | Fase                             |                             |
|-----------------|---------------|----------------------------------|-----------------------------|
| 08:00           | 08:23         | ALTRO                            |                             |
| 08:23           | 09:00         | INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO |                             |
| 09:00           | 09:05         | ALTRO                            |                             |
| 09:05           | 09:12         | INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO |                             |
| 09:12           | 09:16         | INSERIMENTO RIEMPITIVO           |                             |
| 09:16           | 09:18         | INSERIMENTO RINFORZO             |                             |
| 09:18           | 09:30         | INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO |                             |
| 09:30           | 09:45         | PRIMA PAUSA                      |                             |
| 09:45           | 11:25         | INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO |                             |
| 11:25           | 11:35         | PREPARAZIONE AL VUOTO            |                             |
| 11:35           | 12:15         | INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO |                             |
| 12:15           | 12:30         | ALTRO                            |                             |
| 12:30           | 13:30         | PAUSA PRANZO                     |                             |
| 13:30           | 13:45         | ALTRO                            |                             |
| →               | 13:45         | 14:35                            | INSERIMENTO SACCHETTO       |
|                 | 14:35         | 14:54                            | ASSEMBLAGGIO                |
| →               | 14:54         | 15:25                            | ALTRO                       |
|                 | 15:25         | 15:45                            | ASSEMBLAGGIO                |
|                 | 15:45         | 16:00                            | SECONDA PAUSA               |
| →               | 16:00         | 16:26                            | INSERIMENTO FILM DEFINITIVO |
|                 | 16:26         | 17:00                            | ALTRO                       |

**Figura 93-Template delle attività di laminazione effettuate nei rispettivi intervalli di tempo**

È importante evidenziare che, tra le attività indicate, l'operatrice ha definito nell'intervista per la caratterizzazione dei componenti l'inserimento del sacchetto e l'assemblaggio (chiusura) come le fasi più critiche dell'attività di laminazione del FENDER PAMELA. Questa corrispondenza potrebbe fornire un'informazione in più per l'interpretazione del livello di stress riferito. Inoltre, dalla compilazione del questionario NASA TLX sono emersi i seguenti risultati riportati nella figura 96 presente:

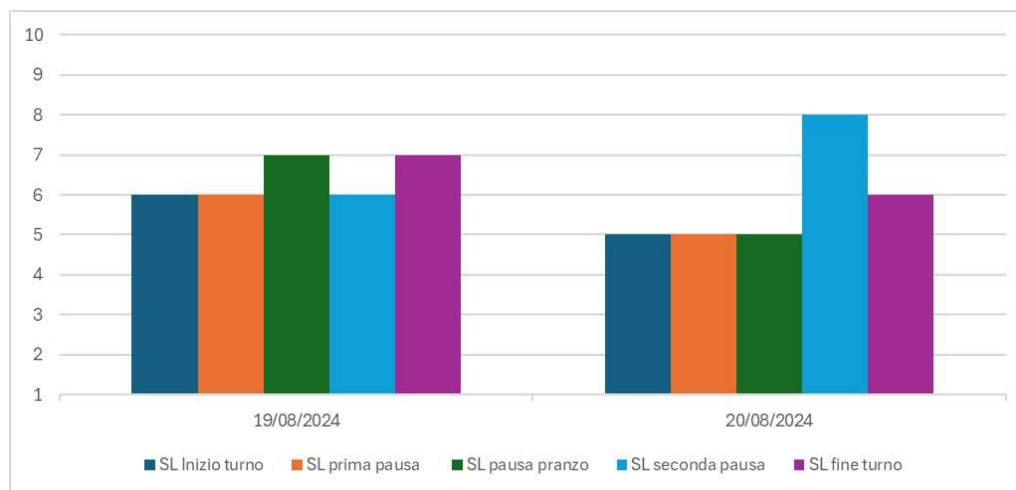
|                              | 11/09/2024 | 12/09/2024 | 13/09/2024 |
|------------------------------|------------|------------|------------|
| <b>Richiesta mentale</b>     | 240        | 60         | 400        |
| <b>Richiesta fisica</b>      | 40         | 210        | 210        |
| <b>Richiesta temporale</b>   | 280        | 400        | 180        |
| <b>Prestazione</b>           | 40         | 60         | 15         |
| <b>Sforzo</b>                | 120        | 120        | 70         |
| <b>Frustrazione</b>          | 0          | 0          | 0          |
| <b>SCORE FINALE NASA TLX</b> | 48         | 57         | 58         |

**Figura 94-Risultati NASA-TLX**

Gli score finali ottenuti nei tre giorni di monitoraggio, sulla base di una legenda qualitativa, corrispondono a un carico di lavoro moderato. Il punteggio più alto è quello del 13/09/2024, dove i fattori preponderanti risultano essere la richiesta mentale e la richiesta fisica. Salta all'occhio anche il valore corrispondente alla prestazione che essendo il più basso rispetto a quello dei monitoraggi precedenti, indica la presenza di un livello di soddisfazione più alto.

Inoltre, si evince un punteggio pari a 0 in tutti e tre i monitoraggi relativo al grado di frustrazione.

Nei giorni 19/08/2024 e 20/08/2024 l'operatrice ARSTECH012 è stata monitorata, come l'operatrice ARSTECH013, durante la laminazione del componente FENDER PAMELA. Nella figura 97 sottostante sono riportati, per tutti e due i giorni, i grafici che mostrano i risultati dello Stress Level riferito dall'operatrice nei diversi momenti della giornata:



**Figura 95-Risultati dello Stress Level riferito dall'operatrice in diversi momenti dei due monitoraggi**

Si può notare subito che, in entrambi i giorni, il livello di stress dichiarato a fine turno è sempre maggiore rispetto a quello dichiarato a inizio turno. Quest'ultimo, considerando la scala qualitativa sopra definita, corrisponde a un punteggio medio-alto il 19/08/2024 e medio-basso il giorno successivo. Complessivamente, il livello di stress riportato a inizio turno è rilevante e, come per l'operatrice ARSTECH013, potrebbe indicare che ARSTECH012 arrivi al lavoro già piuttosto stressata oppure che la consapevolezza, all'inizio del turno, del componente che dovrà laminare sia la causa di tale livello di stress. Inoltre, dal questionario STAI DI STATO sono emersi i seguenti risultati riportati nella figura 98:

| DATA       | STAI DI STATO INIZIO TURNO | STAI DI STATO FINE TURNO |
|------------|----------------------------|--------------------------|
| 19/08/2024 | 47                         | 33                       |
| 20/08/2024 | 40                         | 30                       |

**Figura 96-Risultati STAI DI STATO**

Salta subito all'occhio che, in entrambi i monitoraggi, i punteggi a fine turno sono sempre più bassi rispetto a quelli di inizio turno e corrispondono, secondo una legenda qualitativa, a una condizione di assenza o presenza di ansia bassa.

A inizio turno, invece, si rileva una condizione di ansia alta il 19/08/2024 e di ansia moderata il 20/08/2024. In aggiunta, analizzando il questionario STAI TRATTO è emerso uno score finale pari a 34, indicativo dell'assenza o di una possibile propensione allo stress e all'ansia bassa. Dal confronto del punteggio STAI TRATTO delle operatrici ARSTECH012 e ARSTECH013, rispettivamente di 34 e 52, emerge una notevole differenza nella possibile tendenza a essere ansiose e stressate. Come si può vedere dalla figura 97, l'operatrice ha riferito, alla seconda pausa del giorno 20/08/2024, un punteggio di stress pari a 8, il più alto registrato nei due monitoraggi. Si nota un salto significativo rispetto al livello di stress dichiarato durante la pausa pranzo, pari a 5, e questo potrebbe essere legato a una o più delle fasi indicate nella figura 99 sottostante con una freccia rossa:

| Orario di inizio | Orario di fine | Fase                             |
|------------------|----------------|----------------------------------|
| 08:00            | 08:24          | ALTRO                            |
| 08:24            | 09:40          | INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO |
| 09:40            | 10:00          | INSERIMENTO RIPIETIVO            |
| 10:00            | 10:06          | ALTRO                            |
| 10:06            | 10:21          | PRIMA PAUSA                      |
| 10:21            | 10:42          | INSERIMENTO RINFORZO             |
| 10:42            | 11:14          | INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO |
| 11:14            | 11:21          | ALTRO                            |
| 11:21            | 11:25          | INSERIMENTO RIPIETIVO            |
| 11:25            | 11:28          | INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO |
| 11:28            | 11:35          | ASSEMBLAGGIO                     |
| 11:35            | 11:42          | ALTRO                            |
| 11:42            | 11:57          | INSERIMENTO FILM DEFINITIVO      |
| 11:57            | 12:07          | PREPARAZIONE AL VUOTO            |
| 12:07            | 12:30          | ALTRO                            |
| 12:30            | 13:30          | PAUSA PRANZO                     |
| 13:30            | 13:45          | INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO |
| 13:45            | 14:30          | INSERIMENTO SACCHETTO            |
| 14:30            | 14:52          | ASSEMBLAGGIO                     |
| 14:52            | 15:11          | ALTRO                            |
| 15:11            | 15:13          | INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO |
| 15:13            | 15:35          | ASSEMBLAGGIO                     |
| 15:35            | 15:38          | ALTRO                            |
| 15:38            | 15:47          | INSERIMENTO FILM DEFINITIVO      |
| 15:47            | 16:02          | SECONDA PAUSA                    |
| 16:02            | 16:19          | ALTRO                            |
| 16:19            | 16:48          | INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO |
| 16:48            | 17:00          | ALTRO                            |

**Figura 97-Template delle attività di laminazione effettuate nei rispettivi intervalli di tempo**

Anche in questo caso, tra le attività indicate, sono presenti l'inserimento del sacchetto e l'assemblaggio (chiusura) che rappresentano quelle con maggior livello di criticità per l'operatrice. Questa corrispondenza potrebbe fornire un'informazione in più per l'interpretazione del livello di stress riferito.

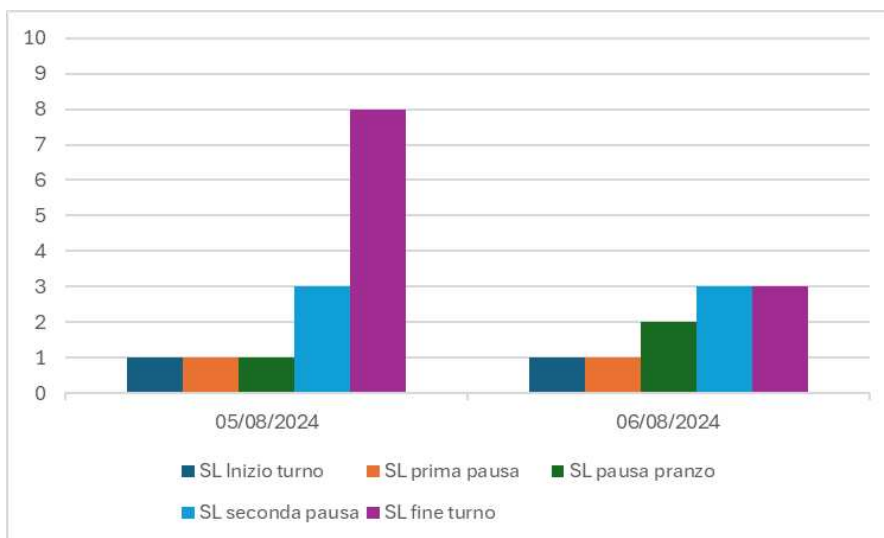
Inoltre, dalla compilazione del questionario NASA TLX sono emersi i seguenti risultati riportati nella figura 100 presente:

|                              | 19/08/2024 | 20/08/2024 |
|------------------------------|------------|------------|
| <b>Richiesta mentale</b>     | 180        | 180        |
| <b>Richiesta fisica</b>      | 50         | 50         |
| <b>Richiesta temporale</b>   | 360        | 360        |
| <b>Prestazione</b>           | 50         | 100        |
| <b>Sforzo</b>                | 210        | 225        |
| <b>Frustrazione</b>          | 0          | 0          |
| <b>SCORE FINALE NASA TLX</b> | 57         | 61         |

**Figura 98-Risultati NASA-TLX**

Gli score finali ottenuti nei giorni 19/08/2024 e 20/08/2024, in base a una legenda qualitativa, corrispondono rispettivamente a un carico di lavoro moderato e a un carico di lavoro elevato. In entrambi i giorni, i fattori preponderanti risultano essere la richiesta temporale e lo sforzo. La richiesta mentale, invece, ha ottenuto un punteggio alto, ma con una ripetitività di scelta bassa. Salta all'occhio anche la bassa richiesta fisica in entrambi i monitoraggi. Inoltre, il giorno 19/08/2024 è caratterizzato da un livello di soddisfazione più alto e si evidenzia un punteggio pari a 0, in entrambi i giorni, per quanto riguarda il grado di frustrazione.

Nei giorni 5/08/2024 e 6/08/2024 l'operatrice ARSTECH010 è stata monitorata durante la laminazione di due componenti: REAR FLAP TATUUS F3R e ALA ORECA GT3. Nella figura 101 sottostante sono riportati, per tutti e due i giorni, i grafici che mostrano i risultati dello Stress Level riferito dall'operatrice nei diversi momenti della giornata:



**Figura 99-Risultati dello Stress Level riferito dall'operatrice in diversi momenti dei due monitoraggi**

È evidente che, in entrambi i giorni, il livello di stress dichiarato a fine turno è sempre maggiore rispetto a quello dichiarato a inizio turno. Quest'ultimo, secondo la scala qualitativa sopra definita, corrisponde a un punteggio basso in entrambi i giorni; ciò potrebbe indicare che l'operatrice tenda ad arrivare al lavoro con un livello di stress quasi assente. Inoltre, dal questionario STAI DI STATO sono emersi i seguenti risultati riportati nella figura 102:

| DATA       | STAI DI STATO INIZIO TURNO | STAI DI STATO FINE TURNO |
|------------|----------------------------|--------------------------|
| 05/08/2024 | 40                         | 50                       |
| 06/08/2024 | DATO MANCANTE              | 33                       |

**Figura 100-Risultati NASA-TLX**

Il giorno 5/08/2024, secondo una legenda qualitativa, è stata rilevata una condizione di ansia moderata a inizio turno e di ansia alta a fine turno. Il giorno successivo, alla fine del turno, si è registrata l'assenza o la presenza di ansia bassa. Non sono disponibili informazioni riguardo il livello di ansia a inizio turno, a causa della mancata somministrazione del questionario. Inoltre, l'analisi del questionario STAI TRATTO ha evidenziato uno score finale pari a 51, indicativo di una possibile propensione a un livello di ansia elevato. È importante evidenziare, come si vede dalle immagini sotto riportate, che il giorno 5/08/2024 l'operatrice ha iniziato e concluso la lavorazione del componente REAR FLAP TATUUS F3R e ha successivamente iniziato la laminazione dell'ALA ORECA GT3, che è stata terminata il giorno 6/08/2024. Inoltre, il 6/08/2024 ha iniziato anche una seconda ALA ORECA GT3 terminata in qualche giorno dopo non oggetto di monitoraggio.

Giorno 5/08/2024:

| Orario di inizio | Orario di fine | Fase Componente REAR FLAP TATUUS F3R    |
|------------------|----------------|---|
| 08:00            | 08:20          | ALTRO                                   |
| 08:20            | 08:24          | INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE |
| 08:24            | 08:31          | PREPARAZIONE AL VUOTO                   |
| 08:31            | 08:34          | INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE |
| 08:34            | 08:41          | PREPARAZIONE AL VUOTO                   |
| 08:41            | 08:45          | ALTRO                                   |
| 08:45            | 08:52          | INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO        |
| 08:52            | 08:54          | ALTRO                                   |
| 08:54            | 08:57          | INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE |
| 08:57            | 09:01          | PREPARAZIONE AL VUOTO                   |
| 09:01            | 09:05          | ALTRO                                   |
| 09:05            | 09:09          | INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO        |
| 09:09            | 09:11          | ALTRO                                   |
| 09:11            | 09:14          | INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE |
| 09:14            | 09:16          | ALTRO                                   |
| 09:16            | 09:19          | PREPARAZIONE AL VUOTO                   |
| 09:19            | 09:27          | RIVESTIMENTO INSERTI E/O RIEMPTIVI      |
| 09:27            | 09:33          | ASSEMBLAGGIO                            |
| 09:33            | 09:41          | ALTRO                                   |
| 09:41            | 09:51          | INSERIMENTO INSERTI                     |
| 09:51            | 09:55          | INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO        |
| 09:55            | 09:57          | ALTRO                                   |
| 09:57            | 10:11          | INSERIMENTO SACCHETTO                   |
| 10:11            | 10:15          | ASSEMBLAGGIO                            |
| 10:15            | 10:30          | PRIMA PAUSA                             |
| 10:30            | 10:39          | INSERIMENTO FILM DEFINITIVO             |

| Orario di inizio | Orario di fine | Fase Componente ALA ORECA GT3_1         |
|------------------|----------------|---|
| 10:39            | 10:51          | ALTRO                                   |
| 10:51            | 10:56          | INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE |
| 10:56            | 11:08          | PREPARAZIONE AL VUOTO                   |
| 11:08            | 11:11          | ALTRO                                   |
| 11:11            | 11:14          | INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE |
| 11:14            | 11:28          | PREPARAZIONE AL VUOTO                   |
| 11:28            | 11:35          | ALTRO                                   |
| 11:35            | 11:54          | INSERIMENTO RINFORZO                    |
| 11:54            | 12:01          | INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO        |
| 12:01            | 12:14          | INSERIMENTO FILM DEFINITIVO             |
| 12:14            | 12:20          | ALTRO                                   |
| 12:20            | 12:27          | INSERIMENTO RINFORZO                    |
| 12:27            | 12:32          | INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO        |
| 12:32            | 13:30          | PAUSA PRANZO                            |
| 13:30            | 13:36          | INSERIMENTO FILM DEFINITIVO             |
| 13:36            | 13:39          | ALTRO                                   |
| 13:39            | 15:08          | COMPONENTE NON DI MIO INTERESSE         |
| 15:08            | 15:23          | SECONDA PAUSA                           |
| 15:23            | 17:00          | COMPONENTE NON DI MIO INTERESSE         |



Giorno 6/08/2024:

| Orario di inizio | Orario di fine | Fase Componente ALAORECAGT3_1           |
|------------------|----------------|---|
| 08:00            | 08:35          | ALTRO                                   |
| 08:35            | 08:47          | INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE |
| 08:47            | 08:54          | INSERIMENTO RINFORZO                    |
| 08:54            | 08:58          | INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE |
| 08:58            | 09:11          | INSERIMENTO RINFORZO                    |
| 09:11            | 09:26          | PREPARAZIONE AL VUOTO                   |
| 09:26            | 09:33          | INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE |
| 09:33            | 09:44          | ASSEMBLAGGIO                            |
| 09:44            | 09:49          | INSERIMENTO RINFORZO                    |
| 09:49            | 09:52          | INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE |
| 09:52            | 09:58          | INSERIMENTO RINFORZO                    |
| 09:58            | 10:13          | PRIMA PAUSA                             |
| 10:13            | 10:29          | INSERIMENTO RINFORZO                    |
| 10:29            | 10:35          | INSERIMENTO FILM DEFINITIVO             |
| 10:35            | 10:44          | PREPARAZIONE AL VUOTO                   |
| 10:44            | 11:10          | RVESTIMENTO INSERTI E/O REMPLITIVI      |
| 11:10            | 11:20          | ALTRO                                   |
| 11:20            | 11:25          | INSERIMENTO INSERTI                     |
| 11:25            | 11:27          | INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO        |
| 11:27            | 11:30          | INSERIMENTO RINFORZO                    |
| 11:30            | 11:33          | INSERIMENTO INSERTI                     |
| 11:33            | 11:39          | INSERIMENTO REMPLITIVO                  |
| 11:39            | 11:42          | INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO        |
| 11:42            | 11:45          | INSERIMENTO FILM DEFINITIVO             |
| 11:45            | 11:53          | PREPARAZIONE AL VUOTO                   |
| 11:53            | 12:03          | ALTRO                                   |
| 12:03            | 12:09          | RVESTIMENTO INSERTI E/O REMPLITIVI      |
| 12:09            | 12:13          | INSERIMENTO SACCHETTO                   |
| 12:13            | 12:30          | ALTRO                                   |
| 12:30            | 13:30          | PAUSA PRANZO                            |
| 13:30            | 13:41          | ASSEMBLAGGIO                            |
| 13:41            | 13:44          | INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO        |
| 13:44            | 13:53          | INSERIMENTO FILM DEFINITIVO             |
| 13:53            | 13:54          | ALTRO                                   |

| Orario di inizio | Orario di fine | Fase Componente ALAORECAGT3_2           |
|------------------|----------------|---|
| 13:54            | 14:03          | ALTRO                                   |
| 14:03            | 14:12          | INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE |
| 14:12            | 14:21          | PREPARAZIONE AL VUOTO                   |
| 14:21            | 14:23          | INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE |
| 14:23            | 14:26          | INSERIMENTO RINFORZO                    |
| 14:26            | 14:36          | PREPARAZIONE AL VUOTO                   |
| 14:36            | 14:54          | ALTRO                                   |
| 14:54            | 15:05          | INSERIMENTO RINFORZO                    |
| 15:05            | 15:20          | SECONDA PAUSA                           |
| 15:20            | 15:34          | INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO        |
| 15:34            | 15:43          | INSERIMENTO FILM DEFINITIVO             |
| 15:43            | 15:50          | ALTRO                                   |
| 15:50            | 15:58          | INSERIMENTO RINFORZO                    |
| 15:58            | 16:03          | INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO        |
| 16:03            | 16:09          | INSERIMENTO FILM DEFINITIVO             |
| 16:09            | 16:12          | ALTRO                                   |
| 16:12            | 17:00          | COMPONENTE NON DI MIO INTERESSE         |

**Figura 101-Template delle attività di laminazione effettuate nei rispettivi intervalli di tempo dei giorni 5/08/2024 e 6/08/2024**

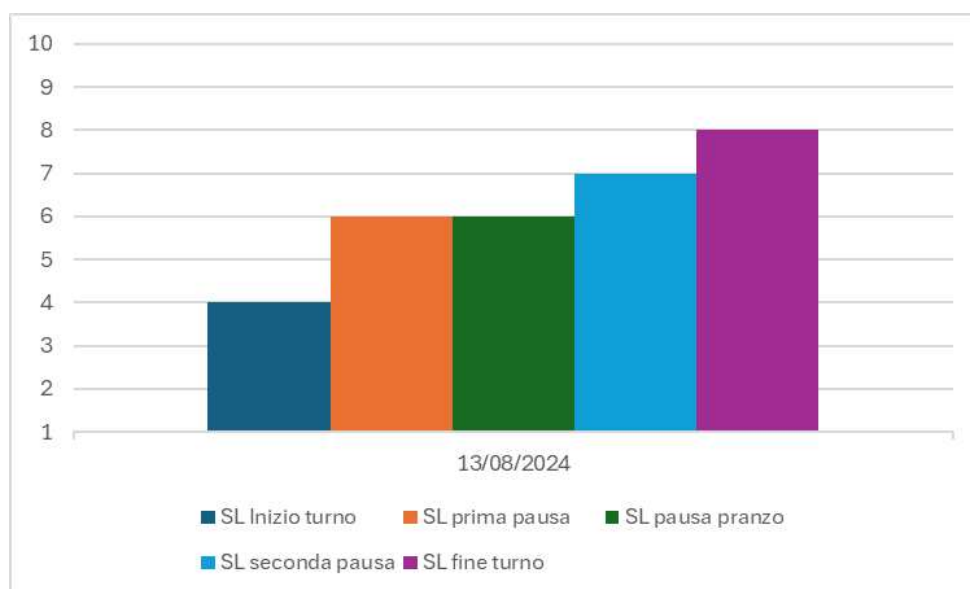
Come si evince dalla figura 101, l'operatrice ha riferito, alla fine del turno del giorno 5/08/2024, un punteggio di stress pari a 8, il più alto registrato nei due monitoraggi. Si nota un salto significativo rispetto al livello di stress dichiarato durante la seconda pausa, pari a 3, e questo potrebbe essere legato a una o più delle seguenti attività indicate nella figura 103 sovrastante con una freccia rossa. Inoltre, dalla compilazione del questionario NASA TLX sono emersi i seguenti risultati riportati nella figura 104 presente:

|                              | 05/08/2024 | 06/08/2024 |
|------------------------------|------------|------------|
| <b>Richiesta mentale</b>     | 320        | 320        |
| <b>Richiesta fisica</b>      | 80         | 60         |
| <b>Richiesta temporale</b>   | 10         | 100        |
| <b>Prestazione</b>           | 80         | 150        |
| <b>Sforzo</b>                | 280        | 240        |
| <b>Frustrazione</b>          | 0          | 0          |
| <b>SCORE FINALE NASA TLX</b> | <b>51</b>  | <b>58</b>  |

**Figura 102-Risultati NASA-TLX**

Gli score finali ottenuti nei giorni 5/08/2024 e 6/08/2024, in base a una legenda qualitativa, corrispondono a un carico di lavoro moderato. In entrambi i giorni, i fattori preponderanti risultano essere la richiesta mentale e lo sforzo. La richiesta temporale, invece, ha ottenuto un punteggio basso il 5/08/2024 e un punteggio medio il 6/08/2024, con una ripetitività di scelta bassa in entrambi i giorni. Inoltre, il giorno 5/08/2024 è caratterizzato da un livello di soddisfazione più alto e si evidenzia un punteggio pari a 0, in entrambi i giorni, per quanto riguarda il grado di frustrazione.

Il giorno 13/08/2024 l'operatore ARSTECH019, in fase di formazione, è stato monitorato durante la laminazione del componente ALA TATUUS EUROPA. Nella figura 105 sottostante è riportato il grafico che mostra i risultati dello Stress Level riferito dall'operatore nei diversi momenti della giornata:



**Figura 103-Risultati dello Stress Level riferito dall'operatrice in diversi momenti del monitoraggio**

Si può notare subito che il livello di stress dichiarato a fine turno è sempre maggiore rispetto a quello dichiarato a inizio turno. Quest'ultimo, considerando la scala qualitativa sopra definita, corrisponde a un punteggio medio-basso. Inoltre, dal questionario STAI DI STATO sono emersi i seguenti risultati riportati nella figura 106:

| DATA       | STAI DI STATO INIZIO TURNO | STAI DI STATO FINE TURNO |
|------------|----------------------------|--------------------------|
| 13/08/2024 | 47                         | 50                       |

**Figura 104-Risultati STAI DI STATO**

Si evince che, i punteggi sia a inizio turno che a fine turno corrispondono, secondo una legenda qualitativa, ad una condizione di ansia alta. In aggiunta, analizzando il questionario STAI TRATTO è emerso uno score finale pari a 44, indicativo di una possibile propensione allo stress e all'ansia moderata. Quest'ultima informazione è coerente con il livello di stress riferito a inizio turno medio-basso, per cui tale punteggio potrebbe essere legato al carattere dell'operatrice.

È importante evidenziare, come si vede dalle immagini sotto riportate, che l'operatore ha iniziato e concluso la laminazione di due ALI TATUUS EUROPA e ha successivamente ha iniziato e finito la laminazione di un componente non oggetto di studio.

| Orario di inizio | Orario di fine | Fase Componente ALA TATUUS EUROPA_1                             |
|------------------|----------------|---|
| 08:00            | 08:09          | ALTRO   |
| 08:09            | 08:15          | INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE                         |
| 08:15            | 08:17          | INSERIMENTO RINFORZI  |
| 08:17            | 08:35          | PREPARAZIONE AL VUOTO   |
| 08:35            | 09:11          | RIVESTIMENTO INSERTI E/O RIEMPTIVI                              |
| 09:11            | 09:27          | ALTRO   |
| 09:27            | 09:29          | ASSEMBLAGGIO  |
| 09:29            | 09:37          | INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO                                |
| 09:37            | 09:49          | INSERIMENTO RIEMPTIVO+INSERIMENTO INSERTI+ INSERIMENTO RINFORZI |
| 09:49            | 09:54          | ALTRO   |
| 09:54            | 09:57          | INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO                                |
| 09:57            | 10:07          | INSERIMENTO SACCHETTO   |
| 10:07            | 10:10          | INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO                                |
| 10:10            | 10:18          | ASSEMBLAGGIO  |
| 10:18            | 10:21          | ALTRO   |
| 10:21            | 10:33          | INSERIMENTO FILM DEFINITIVO                                     |
| 10:33            | 10:48          | PRIMA PAUSA   |

| Orario di inizio | Orario di fine | Fase Componente ALA TATUUS EUROPA_2                             |
|------------------|----------------|---|
| 10:48            | 10:51          | ALTRO   |
| 10:51            | 10:56          | INSERIMENTO STRATO MATERIALE PRINCIPALE                         |
| 10:56            | 10:58          | INSERIMENTO RINFORZI  |
| 10:58            | 11:11          | PREPARAZIONE AL VUOTO   |
| 11:11            | 11:34          | RIVESTIMENTO INSERTI E/O RIEMPTIVI                              |
| 11:34            | 11:48          | ALTRO   |
| 11:48            | 11:53          | ASSEMBLAGGIO  |
| 11:53            | 12:02          | INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO                                |
| 12:02            | 12:17          | INSERIMENTO RIEMPTIVO+INSERIMENTO INSERTI+ INSERIMENTO RINFORZI |
| 12:17            | 12:22          | ALTRO   |
| 12:22            | 12:25          | INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO                                |
| 12:25            | 12:30          | INSERIMENTO SACCHETTO   |
| 12:30            | 13:30          | PAUSA PRANZO  |
| 13:30            | 13:37          | INSERIMENTO MATERIALE SECONDARIO                                |
| 13:37            | 13:44          | ASSEMBLAGGIO  |
| 13:44            | 13:50          | INSERIMENTO FILM DEFINITIVO                                     |

| Orario di inizio | Orario di fine | Fase                            |
|------------------|----------------|---------------------------------|
| 13:50            | 15:30          | COMPONENTE NON DI MIO INTERESSE |
| 15:30            | 15:45          | SECONDA PAUSA                   |
| 15:45            | 17:00          | COMPONENTE NON DI MIO INTERESSE |

**Figura 105-Template delle attività di laminazione effettuate nei rispettivi intervalli di tempo**

Come si può vedere dalla figura 105, l'operatore ha riferito alla fine del turno un punteggio di stress pari a 8, che è il più alto tra tutti; questo potrebbe essere legato a una o più delle seguenti fasi indicate nella figura 107 sovrastante con una freccia rossa. È importante evidenziare che, tra le attività indicate, compare l'assemblaggio (chiusura) che l'operatrice ha definito, nell'intervista per la caratterizzazione dei componenti, come la fase più critiche dell'attività di laminazione dell'ALA TATUUS EUROPA. Questa corrispondenza potrebbe fornire un'informazione in più per l'interpretazione del livello di stress riferito. Inoltre, dalla compilazione del questionario NASA TLX sono emersi i seguenti risultati riportati nella figura 108 presente:

|                              | <b>13/08/2024</b> |
|------------------------------|-------------------|
| <b>Richiesta mentale</b>     | 160               |
| <b>Richiesta fisica</b>      | 0                 |
| <b>Richiesta temporale</b>   | 55                |
| <b>Prestazione</b>           | 100               |
| <b>Sforzo</b>                | 240               |
| <b>Frustrazione</b>          | 475               |
| <b>SCORE FINALE NASA TLX</b> | 69                |

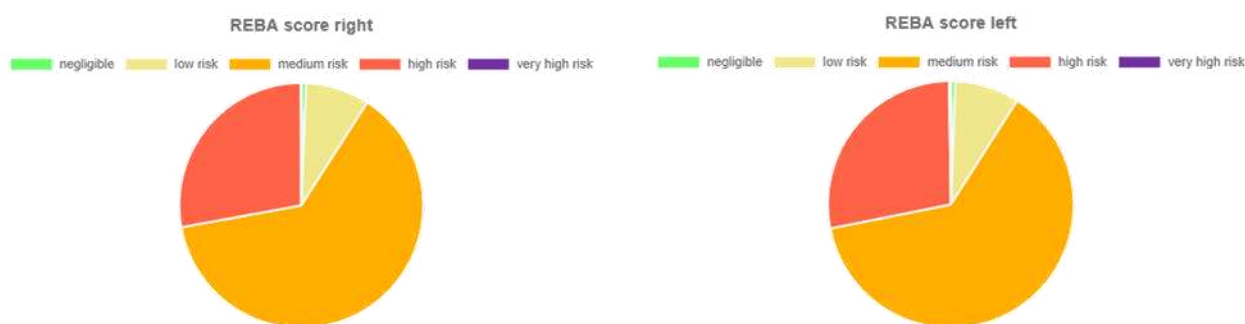
*Figura 106-Risultati NASA-TLX*

Lo score finale, in base a una legenda qualitativa, corrisponde a un carico di lavoro alto. Il fattore preponderante, che salta subito all'occhio, risulta essere il livello di frustrazione. La richiesta fisica ha ottenuto un punteggio medio ma una ripetitività di scelta pari a 0. Inoltre, rilevante risulta essere anche il fattore sforzo.

## 4. RISULTATI ERGONOMIA FISICA IN AUTOCLAVE

Per quanto riguarda l'analisi REBA delle posture e del sovraccarico biomeccanico durante l'attività di inserimento dell'assorbitore sul cofano PAMELA non carrellato, è stata valutata la parte destra e sinistra del lavoratore e il tempo totale di misurazione è stato di 21 minuti e 4 secondi (corrispondente a un numero di frame pari a 7585). I grafici conclusivi sottostanti mostrano, per entrambi i lati, la percentuale del tempo di monitoraggio in cui il punteggio REBA assume i valori della scala corrispondente, identificando un livello di rischio trascurabile, basso, medio, alto e veramente alto.

| REBA score           | RIGHT    |          | LEFT     |          |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|
|                      | frame    | time     | frame    | time     |
| Negligible (1)       | 0.63%    | 00:00:08 | 0.6%     | 00:00:07 |
| Low-risk (2-3)       | 8.49%    | 00:01:47 | 8.49%    | 00:01:47 |
| Medium risk (4-7)    | 63.02%   | 00:13:16 | 62.79%   | 00:13:13 |
| High risk (8-10)     | 28%      | 00:05:51 | 27.9%    | 00:05:52 |
| Very high risk (+10) | 0.03%    | 00:00:00 | 0.22%    | 00:00:02 |
| Mean Score           | 5.92     |          | 5.93     |          |
| Total Time           | 00:21:04 |          | 00:21:04 |          |



**Figura 107-Grafici conclusivi che mostrano, per entrambi i lati, la percentuale del tempo di monitoraggio in cui il punteggio REBA assume i valori della scala corrispondente, identificando un livello di rischio trascurabile, basso, medio, alto e veramente alto**

Per la parte destra è emerso che:

- Lo 0,63% del tempo totale di misurazione è stato caratterizzato da un punteggio REBA pari a 1, indicativo della presenza di un rischio trascurabile;
- L'8,49% è stato caratterizzato da un punteggio REBA compreso tra 2-3, indicativo della presenza di un rischio basso;

- La maggior parte del tempo, in particolare il 63,02%, è stato caratterizzato da un punteggio REBA compreso tra 4-7, indicativo di un rischio medio;
- Il 28%, percentuale comunque piuttosto rilevante, è stato caratterizzato da un punteggio REBA compreso tra 8-10, indicativo della presenza di un rischio elevato;
- Una percentuale molto prossima allo zero del tempo totale è stata caratterizzata da un punteggio REBA superiore a 10, indicativo dell'assenza di un rischio veramente elevato.

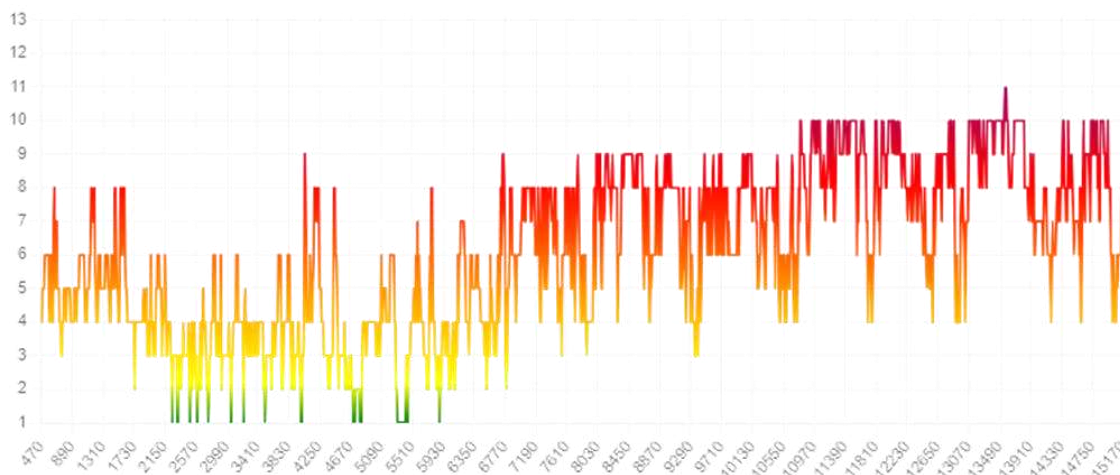
Per la parte sinistra, invece, ci sono stati i seguenti risultati:

- Per lo 0,6% del tempo totale di misurazione c'è stato un punteggio REBA pari a 1, indicativo della presenza di un rischio trascurabile;
- Per l'8,49% c'è stato un punteggio REBA compreso tra 2-3, indicativo della presenza di un rischio basso;
- Per la maggior parte del tempo, in particolare il 62,79%, c'è stato un punteggio REBA compreso tra 4-7, indicativo di un rischio medio;
- Per il 27,9%, percentuale comunque piuttosto rilevante, c'è stato un punteggio REBA compreso tra 8-10, indicativo della presenza di un rischio elevato;
- Una percentuale quasi nulla (0,22%) del tempo di misurazione con un punteggio REBA superiore a 10, indicativo dell'assenza di rischio veramente elevato.

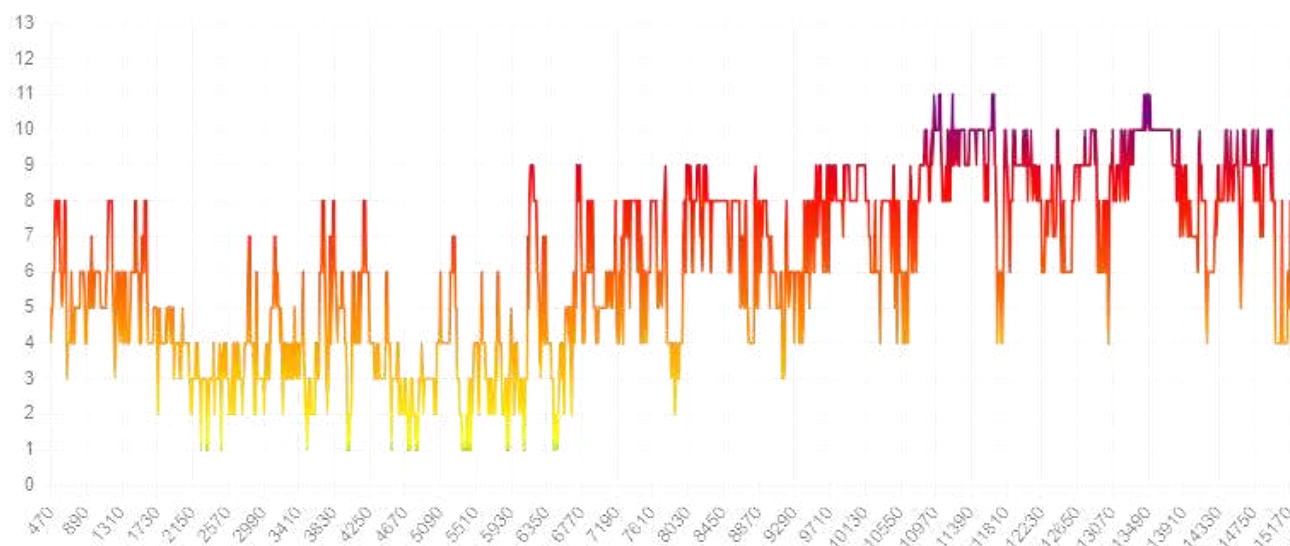
Facendo una media, sia per la parte destra che per quella sinistra, dei punteggi REBA individuati durante l'intera misurazione, si ottengono rispettivamente i seguenti valori: 5,92 e 5,93, corrispondenti alla presenza di un rischio medio nell'intera attività oggetto di studio.

Quindi, per questa attività, i due lati, destro e sinistro, si equivalgono in termini di rischio associato. Quest'ultimo è giustificato dal tipo di attività che è prevalentemente manuale e dal tipo di componente che, essendo cavo, spigoloso e non carrellato, comporta posture poco ergonomiche per la corretta esecuzione.

I grafici a linea sottostanti mostrano, per il lato destro e sinistro, l'andamento del punteggio REBA nel tempo. Questo è utile per capire quali sono le posture più rischiose che l'attività richiede all'operatore.



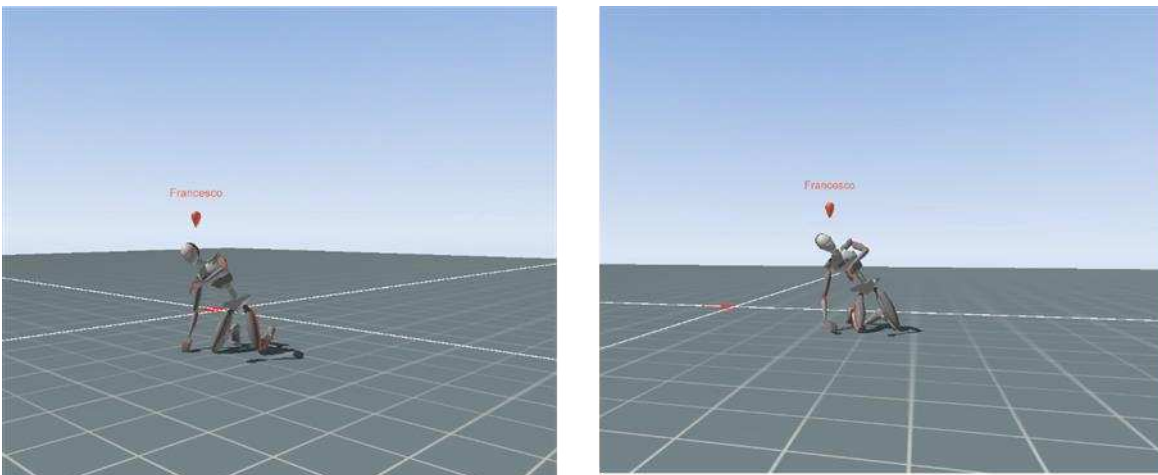
**Figura 108-Grafico a linea che mostra per il lato destro l'andamento del punteggio REBA nel tempo**



**Figura 109-Grafico a linea che mostra per il lato sinistro l'andamento del punteggio REBA nel tempo**

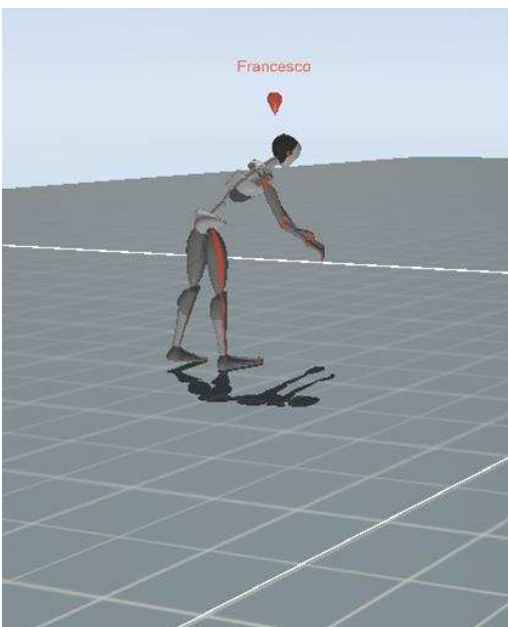
Entrando nel dettaglio del lato destro, dal file Excel del monitoraggio si osserva che, in corrispondenza del frame 13560 e 13580, il REBA assume un punteggio pari a 11, valore massimo della misurazione, indicativo della presenza di un rischio veramente alto. Ciò nonostante, vista la bassissima percentuale di tempo in cui il REBA assume quel punteggio rispetto al totale (0,03%), la presenza di un rischio veramente alto durante l'esecuzione dell'attività è considerata nulla.

Di sotto sono riportate le due posture dell'operatore con REBA pari a 11:



**Figura 110-Frame 13560(immagine a Sx) e Frame 13580( immagine a Dx)**

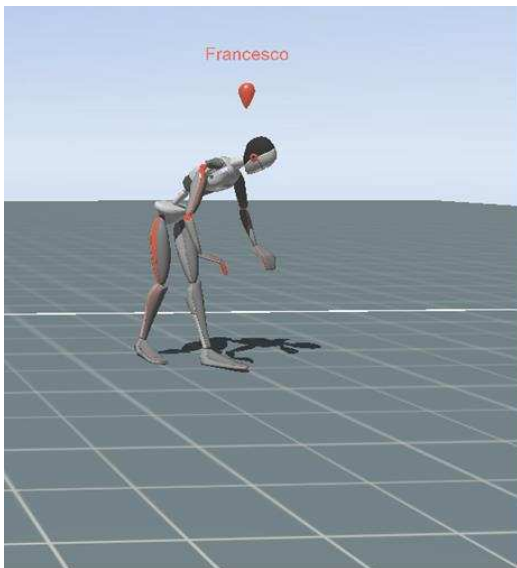
Per un tempo di 32 secondi (192 frame), il punteggio REBA raggiunge un valore pari a 10, per poco più di 1 minuto e mezzo (574 frame) raggiunge un valore pari a 9 e per più di 3 minuti e mezzo (1345 frame) raggiunge un valore pari a 8. Questi punteggi sono tutti indicativi della presenza di un rischio alto. Considerando il punteggio che interessa il tempo più lungo (REBA=8), qui di sotto sono riportate alcune immagini che mostrano le posture critiche assunte dall'operatore e i valori assunti dai vari step, nei corrispondenti frame:



|              |   |
|--------------|---|
| Step1        | 3 |
| Step2        | 4 |
| Step3        | 1 |
| Step4        | 6 |
| Step5        | 0 |
| Step6        | 6 |
| Step7_RIGHT  | 3 |
| Step8_RIGHT  | 2 |
| Step9_RIGHT  | 2 |
| Step10_RIGHT | 5 |
| Step11_RIGHT | 0 |
| Step12_RIGHT | 5 |
| Step13_RIGHT | 8 |
| Step14_RIGHT | 8 |

**Figura 111-Step REBA Frame 1590**

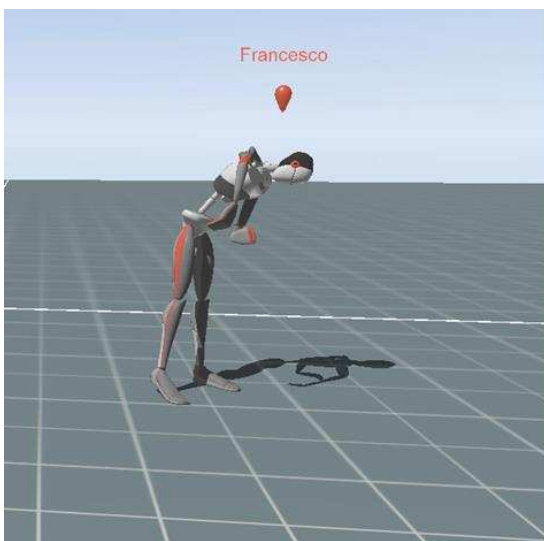
Nel frame 1590 i valori più critici sono presenti nello step 1, 2 e 8 relativi rispettivamente alla posizione del collo, del tronco e dell'avambraccio destro, con un punteggio pari a 3,4 e 2.



|              |   |
|--------------|---|
| Step1        | 2 |
| Step2        | 5 |
| Step3        | 1 |
| Step4        | 6 |
| Step5        | 0 |
| Step6        | 6 |
| Step7_RIGHT  | 3 |
| Step8_RIGHT  | 2 |
| Step9_RIGHT  | 2 |
| Step10_RIGHT | 5 |
| Step11_RIGHT | 0 |
| Step12_RIGHT | 5 |
| Step13_RIGHT | 8 |
| Step14_RIGHT | 8 |

**Figura 112-Step REBA Frame 7280**

Nel frame 7280 i valori più critici sono presenti nello step 2 e 8 relativi rispettivamente alla posizione del tronco e dell'avambraccio destro, con un punteggio pari a 5 e 2.



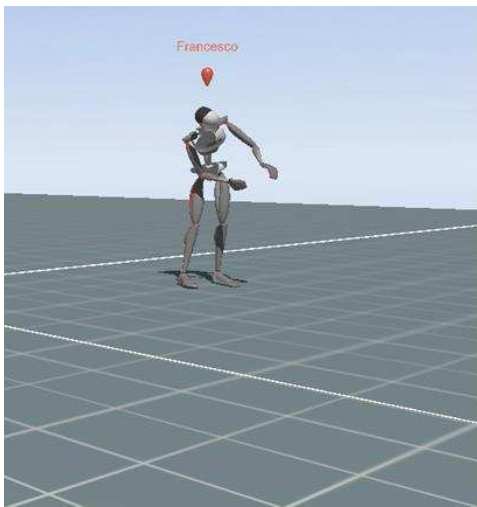
|              |   |
|--------------|---|
| Step1        | 3 |
| Step2        | 4 |
| Step3        | 1 |
| Step4        | 6 |
| Step5        | 0 |
| Step6        | 6 |
| Step7_RIGHT  | 4 |
| Step8_RIGHT  | 1 |
| Step9_RIGHT  | 3 |
| Step10_RIGHT | 5 |
| Step11_RIGHT | 0 |
| Step12_RIGHT | 5 |
| Step13_RIGHT | 8 |
| Step14_RIGHT | 8 |

**Figura 113-Step REBA Frame 16960**

Nel frame 16960 i valori più critici sono presenti nello step 1, 2 e 9 relativi rispettivamente alla posizione del collo, del tronco e del polso destro, con un punteggio pari a 3,4 e 3.

In aggiunta, per poco più di 1 minuto e mezzo (625 frame) il punteggio REBA assume un valore pari a 7, per poco meno di 4 minuti e mezzo (1584) raggiunge un valore pari a 6, per quasi 3 minuti (1035 frame) raggiunge un valore pari a 5 e per circa 4 minuti (1535 frame) raggiunge un valore pari a 4. Questi punteggi sono tutti indicativi della presenza di un rischio medio.

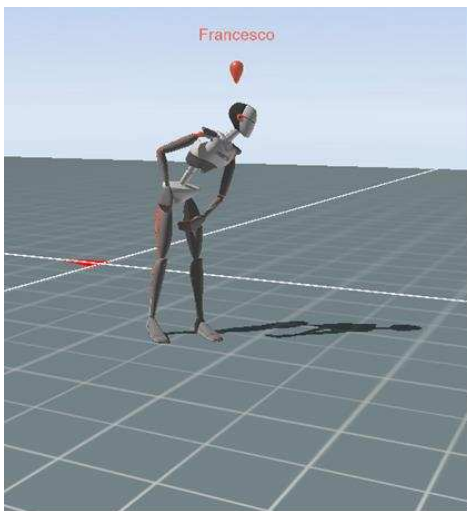
Considerando il valore che interessa il tempo più lungo (REBA= 6), qui di sotto sono riportate alcune immagini che mostrano le posture critiche assunte dall'operatore e i valori assunti dai vari step, nei corrispondenti frame:



|              |   |
|--------------|---|
| Step1        | 2 |
| Step2        | 4 |
| Step3        | 1 |
| Step4        | 5 |
| Step5        | 0 |
| Step6        | 5 |
| Step7_RIGHT  | 3 |
| Step8_RIGHT  | 1 |
| Step9_RIGHT  | 3 |
| Step10_RIGHT | 5 |
| Step11_RIGHT | 0 |
| Step12_RIGHT | 5 |
| Step13_RIGHT | 6 |
| Step14_RIGHT | 6 |

**Figura 114-Step REBA Frame 15750**

Nel frame 15750 i valori più critici sono presenti nello step 2 e 9 relativi rispettivamente alla posizione del tronco e del polso destro con un punteggio pari a 4 e 3.



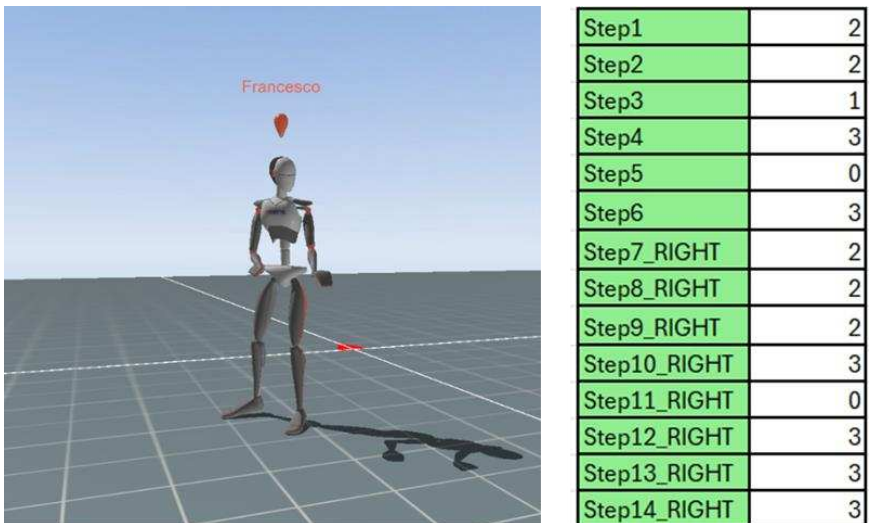
|              |   |
|--------------|---|
| Step1        | 3 |
| Step2        | 4 |
| Step3        | 1 |
| Step4        | 6 |
| Step5        | 0 |
| Step6        | 6 |
| Step7_RIGHT  | 2 |
| Step8_RIGHT  | 1 |
| Step9_RIGHT  | 2 |
| Step10_RIGHT | 2 |
| Step11_RIGHT | 0 |
| Step12_RIGHT | 2 |
| Step13_RIGHT | 6 |
| Step14_RIGHT | 6 |

**Figura 115-Step REBA Frame 18870**

Nel frame 18870 i valori più critici sono presenti nello step 1 e 2 relativi rispettivamente alla posizione del collo e del tronco con un punteggio pari a 3 e 4.

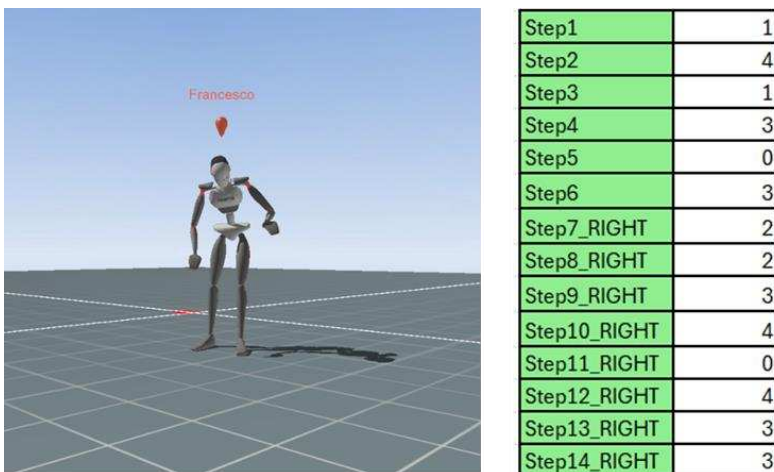
Invece, la presenza di un rischio basso caratterizza il tempo monitorato per poco più di 1 minuto (461 frame) con un punteggio pari a 3 e per circa mezzo minuto (183 frame) con un punteggio pari a 2.

Considerando il punteggio che interessa il tempo più lungo (REBA=3), qui di sotto sono riportate alcune immagini che mostrano le posture critiche assunte dall'operatore e i valori assunti dai vari step, nei corrispondenti frame:



**Figura 116-Step REBA Frame 4340**

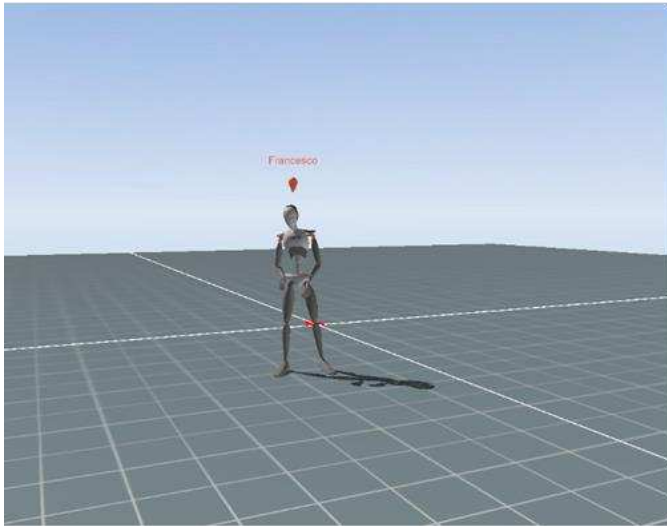
Nel frame 4340 il valore più critico è presente nello step 8 relativo alla posizione dell'avambraccio destro, con un punteggio pari a 2.



**Figura 117-Step REBA Frame 6640**

Nel frame 6640 il valore più critico è presente nello step 2 relativo alla posizione del tronco con un punteggio pari a 4, nello step 8 relativo alla posizione dell'avambraccio con un punteggio pari a 2 e nello step 9 relativo alla posizione del polso, con un punteggio pari a 3. Ciò nonostante, in entrambi i casi, gli altri step hanno un valore basso o medio, dovuto alla presenza di una postura dell'operatore piuttosto corretta e quindi di un rischio prevalentemente basso per la sua salute.

Infine, la presenza di rischio trascurabile caratterizza un tempo pari a 8 secondi (48 frame) con un punteggio pari a 1. Di sotto è riportata un'immagine rappresentante l'operatore in una postura che non danneggia la sua salute.



|              |   |
|--------------|---|
| Step1        | 2 |
| Step2        | 1 |
| Step3        | 1 |
| Step4        | 1 |
| Step5        | 0 |
| Step6        | 1 |
| Step7_RIGHT  | 1 |
| Step8_RIGHT  | 1 |
| Step9_RIGHT  | 2 |
| Step10_RIGHT | 2 |
| Step11_RIGHT | 0 |
| Step12_RIGHT | 2 |
| Step13_RIGHT | 1 |
| Step14_RIGHT | 1 |

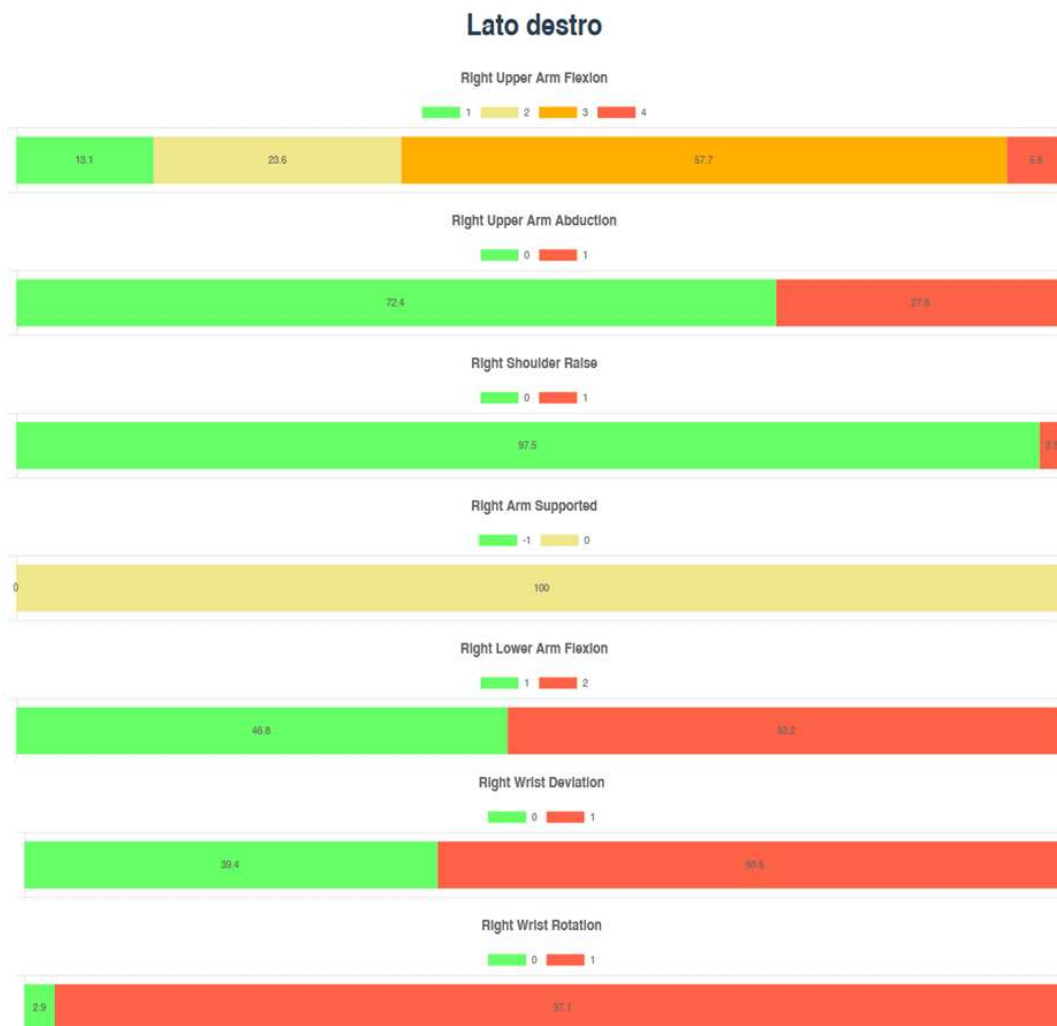
**Figura 118-Step REBA pari a 1**

Entrando nel dettaglio del lato sinistro, invece, dal file Excel del monitoraggio si osserva che:

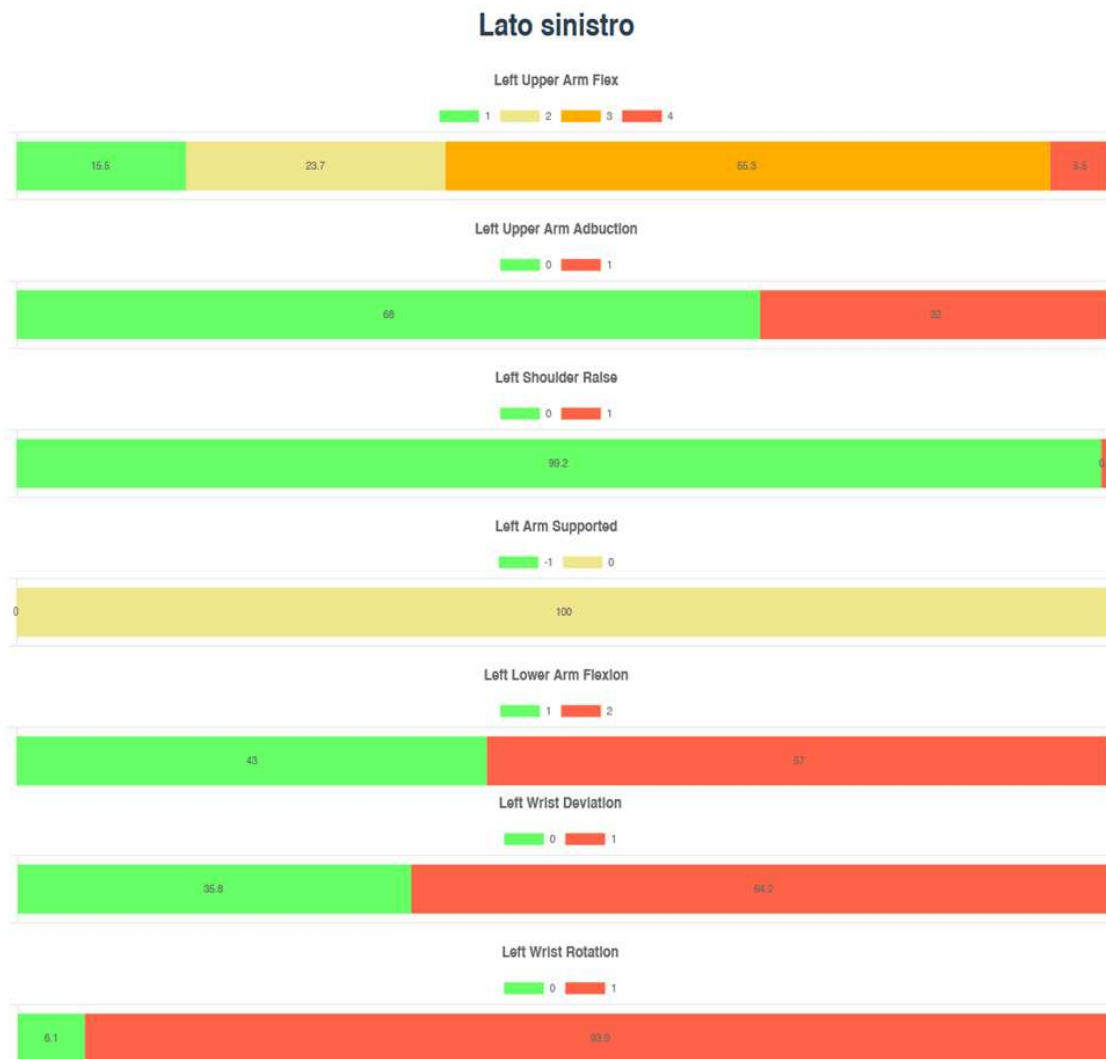
- Per un tempo di 2 secondi (17 frame) il punteggio REBA assume un valore pari a 11, indicativo della presenza di un rischio veramente alto. In realtà, vista la bassissima percentuale di tempo in cui il REBA assume quel punteggio rispetto al totale (0,22%), la presenza di rischio veramente alto durante l'esecuzione dell'attività è considerata pressoché nulla.
- Per mezzo minuto (204 frame) il REBA assume un valore pari a 10, per circa 1 minuto e mezzo (533 frame) assume un valore pari a 9 e per quasi 4 minuti (1379 frame) il REBA assume un valore pari a 8. Questi punteggi sono tutti indicativi della presenza di un rischio alto;
- Per poco più di 1 minuto e mezzo (610 frame) il REBA assume un valore pari a 7, per circa 4 minuti e mezzo (1659 frame) assume un valore pari a 6, per circa 2 minuti e mezzo (924 frame) assume un valore pari a 5 e per poco meno di 4 minuti e mezzo (1570 frame) assume un valore pari a 4. Questi punteggi sono tutti indicativi della presenza di un rischio medio;
- Per poco più di 1 minuto (465 frame) il REBA assume un valore pari a 3 e per 30 secondi (179 frame) assume un valore pari a 2. Questi punteggi sono tutti indicativi della presenza di un rischio basso;

- Soltanto per un tempo di 7 secondi (45 frame), il REBA assume un valore pari a 1, indicativo della presenza di un rischio trascurabile.

Nei grafici sottostanti sono riportati, per singola parte del corpo analizzata e per entrambi i lati, le percentuali di tempo rispetto al totale in cui viene assunto un punteggio della corrispondente scala di valori. Questo permette di comprendere quali sono le parti del corpo più esposte al rischio durante l'attività, per l'intero monitoraggio.



**Figura 119-Percentuale di tempo rispetto al totale in cui viene assunto un punteggio della corrispondente scala di valori per singola parte relativa al lato destro**



**Figura 120-Percentuale di tempo rispetto al totale in cui viene assunto un punteggio della corrispondente scala di valori per singola parte relativa al lato sinistro**

Per quanto riguarda la parte destra, in relazione al braccio destro, la percentuale di tempo più rilevante pari al 57,7% ha interessato un punteggio pari a 3, ossia una flessione compresa tra 45-90°. Soltanto per il 5,6 % del tempo, invece, c'è stata la condizione più sfavorevole, ossia una flessione di 90°+. Inoltre, per il 27,6% del monitoraggio l'attività è stata svolta con il braccio destro abdotto, rendendo ancor più vulnerabile la postura dell'operatore. Soltanto il 2,5% del tempo è stato caratterizzato dal sollevamento della spalla destra durante l'esecuzione e non c'è stata la presenza di alcun supporto per il braccio destro. In relazione all'avambraccio destro, la percentuale di tempo più rilevante pari al 53,2% ha interessato un punteggio pari a 2, ossia una flessione di 100°+ o compresa tra 0-60° rappresentante la condizione più sfavorevole. Per quanto riguarda il polso destro, si ha che la percentuale di tempo più rilevante pari al 63,5% ha interessato un punteggio pari a 2, indicativo di una flessione di 15°+ o -15°+. Inoltre, il 60,6% del tempo è stato caratterizzato

da una deviazione del polso e il 97,1% è stato caratterizzato da una sua rotazione. Quest'ultimo risultato è giustificato dal fatto che l'attività di messa in posa dell'assorbitore, di base, richiede una rotazione continua del polso.

Per quanto riguarda il lato sinistro, invece, si ha che:

- In relazione al braccio sinistro, la percentuale di tempo più rilevante pari al 55,3% ha interessato un punteggio pari a 3, ossia una flessione compresa tra 45-90°. Soltanto per il 5,6 % del tempo c'è stata la condizione più sfavorevole, ossia una flessione di 90°+. Inoltre, il 32% del tempo è stato caratterizzato dall'abduzione del braccio sinistro, che ha contribuito all'aumento del rischio. Soltanto lo 0,8% del tempo ha visto lo svolgimento dell'attività con la spalla sinistra alzata e il braccio sinistro non ha avuto alcun supporto durante tutta l'analisi;
- Per quanto riguarda l'avambraccio sinistro, la percentuale di tempo più rilevante pari al 57% ha interessato un punteggio pari a 2, ossia una flessione di 100°+ o compresa tra 0-60° rappresentante la condizione più sfavorevole.
- In relazione al polso sinistro, invece, la percentuale di tempo più rilevante pari al 62,2% ha interessato un punteggio pari a 2, indicativo di una flessione di 15°+ o - 15°+. Inoltre, durante l'attività c'è stata una deviazione del polso sinistro per il 64,2% del tempo e una rotazione per il 93,9%.

Facendo l'analisi su collo, tronco e gambe, come riportato dal grafico sottostante si ha che:

- Per la percentuale di tempo più rilevante pari al 58,4%, il collo ha interessato un punteggio pari a 1, indicativo di una flessione tra 10-20°. Per il 41,6%, invece, ha interessato un punteggio pari a 2, indicativo di una flessione di 20°+ o di una estensione all'indietro, rappresentante la condizione più sfavorevole. Inoltre, per il 47,6% del tempo c'è stata la presenza di una flessione laterale del collo e per il 77,6% di una sua rotazione.
- Per la percentuale di tempo più rilevante pari al 71,5%, il tronco ha interessato un punteggio pari a 3, indicativo di una flessione tra 20-60°. Per il 16,7%, invece, ha interessato un punteggio pari a 4, indicativo di una flessione superiore a 60° e rappresentante la condizione più sfavorevole. Inoltre, durante l'attività c'è stata una flessione laterale del tronco per il 46,3% del tempo e una rotazione per il 31,4%.

## Collo, tronco e gambe



**Figura 121-Percentuale di tempo rispetto al totale in cui viene assunto un punteggio della corrispondente scala di valori per collo, tronco e gambe**

Inoltre, come si evince dall'immagine sottostante, vi è stata la presenza di una forza/carico inferiore a 5 kg sull'operatore durante l'intero monitoraggio dell'attività. Per quanto riguarda la flessione delle ginocchia, una percentuale di tempo del 92,4% è caratterizzata da un punteggio pari a 0, indicativo della non flessione delle ginocchia, un percentuale dello 0,4% è caratterizzata da un punteggio pari a 1 indicativo di una flessione tra 30-60° e una percentuale del 7,2% è caratterizzata da un punteggio pari a 2 indicativo di una flessione superiore a 60°.



**Figura 122-Percentuale di tempo rispetto al totale in cui viene assunto un punteggio della corrispondente scala di valori per la forza/carico e flessione delle ginocchia**

La tabella presente mostra il punteggio medio di ogni step, indicando le percentuali di tempo per cui ciascun valore della scala corrispondente è presente nello step di riferimento.

| Attribute                                    | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6  | Media |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|----|-------|
| Step 1 (posizione del collo)                 | 6%  | 57% | 37% |     |     |    | 2,3   |
| Step 2 (posizione del tronco)                | 1%  | 8%  | 35% | 43% | 13% |    | 3,6   |
| Step 3 (gambe)                               | 92% | 0%  | 3%  |     |     |    | 1,1   |
| RIGHT Step 7 (posizione del braccio dx)      | 11% | 18% | 47% | 20% | 3%  | 0% | 2,9   |
| RIGHT Step 8 (posizione dell'avambraccio dx) | 47% | 53% |     |     |     |    | 1,5   |
| RIGHT Step 9 (posizione del polso dx)        | 14% | 48% | 38% |     |     |    | 2,2   |
| LEFT Step 7 (posizione del braccio sx)       | 12% | 20% | 43% | 22% | 3%  | 0% | 2,8   |
| LEFT Step 8 (posizione dell'avambraccio sx)  | 43% | 57% |     |     |     |    | 1,6   |
| LEFT Step 9 (posizione del polso sx)         | 11% | 50% | 39% |     |     |    | 2,3   |

**Figura 123-Punteggio medio di ogni step**

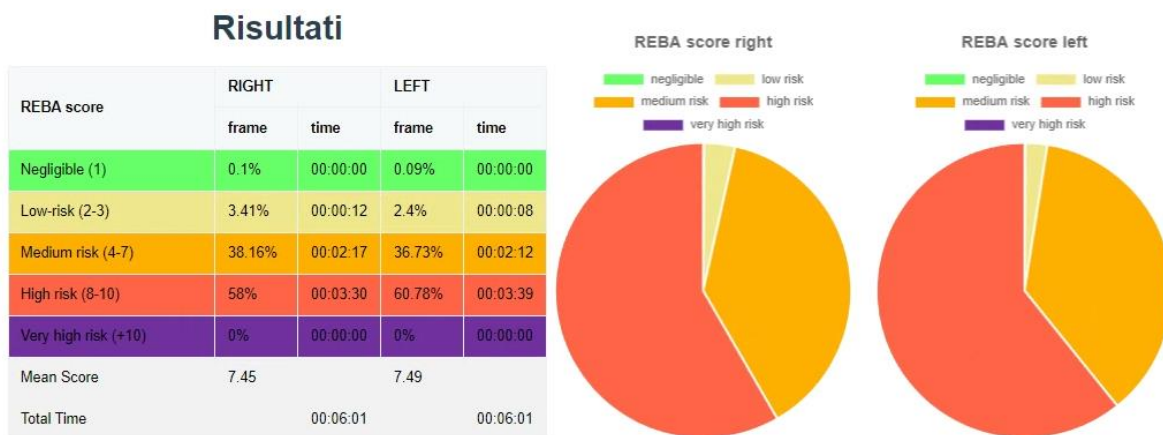
Si evince che la posizione del collo, del tronco, dell'avambraccio destro e sinistro, del polso destro e sinistro sono caratterizzati, secondo una scala qualitativa definita, da un livello di criticità per l'operatore medio-alto, mentre la posizione del braccio destro e sinistro sono caratterizzati da una criticità media. Le gambe, invece, presentano un livello di criticità basso, poiché l'attività si svolge prevalentemente con i piedi ben appoggiati a terra e senza flessione delle ginocchia.



**Figura 124-Inserimento assorbitore nel reparto Autoclave**

Dopo l'inserimento dell'assorbitore, il componente è stato posizionato a terra su una superficie in gomma per l'attività di sottovuoto successiva. La valutazione posturale è stata effettuata anche per questa attività, suddivisa in due monitoraggi: uno per l'analisi del sottovuoto inferiore, in cui l'operatore è disteso a terra per circa il 20% del tempo totale monitorato e in piedi per il restante tempo, e uno per il sottovuoto superiore, in cui l'operatore è in piedi per tutta la durata. I grafici conclusivi sottostanti evidenziano, per la parte destra e la parte sinistra, la percentuale del tempo di monitoraggio in cui il punteggio REBA assume i valori della scala corrispondente, identificando un livello di rischio trascurabile, basso, medio, alto e veramente alto, dell'attività di sottovuoto.

Risultati monitoraggio sottovuoto superiore:



Risultati monitoraggio sottovuoto inferiore:



**Figura 125-Grafici conclusivi che mostrano, per entrambi i lati, la percentuale del tempo di monitoraggio in cui il punteggio REBA assume i valori della scala corrispondente, identificando un livello di rischio trascurabile, basso, medio, alto e veramente alto**

Facendo una media, sia per la parte destra che per quella sinistra, dei punteggi REBA individuati, in entrambi i monitoraggi, durante l'intero tempo di misurazione, si ottengono valori equivalenti per i due lati destro e sinistra e corrispondenti alla presenza di un rischio medio-alto nell'intera attività oggetto di studio. Dal grafico si evince che il sottovuoto inferiore è stato caratterizzato da un punteggio medio REBA leggermente più elevato del sottovuoto superiore. Come già detto anche per l'attività precedente, il sottovuoto è prevalentemente manuale e la geometria del componente comporta, per l'operatore, posture poco ergonomiche per la corretta esecuzione. Confrontando il punteggio medio REBA per l'attività di inserimento dell'assorbitore con quello per l'attività di sottovuoto (calcolato come media dei punteggi medi dei due lati), si ottengono rispettivamente 5,92 e 7,6. Di conseguenza, l'attività di sottovuoto presenta una criticità posturale maggiore rispetto a quella di inserimento dell'assorbitore; tuttavia, entrambe rientrano in un livello di rischio medio per l'operatore.

Le tabelle sottostanti mostrano il punteggio medio di ogni step, indicando le percentuali di tempo per cui ciascun valore della scala corrispondente è presente nello step di riferimento.

#### Monitoraggio sottovuoto superiore:

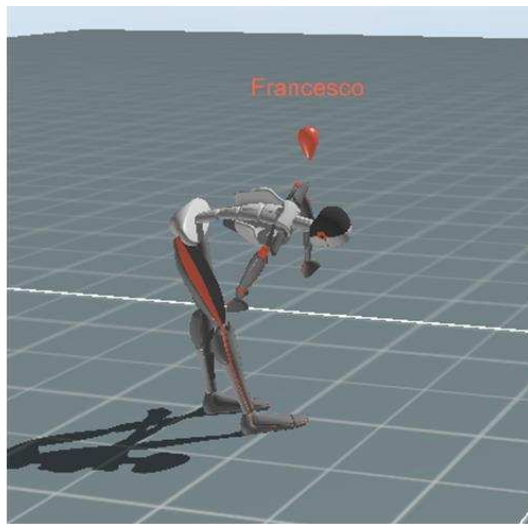
| Attribute                                    | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6  | Media |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|----|-------|
| Step 1 (posizione del collo)                 | 5%  | 55% | 39% |     |     |    | 2,3   |
| Step 2 (posizione del tronco)                | 0%  | 2%  | 5%  | 31% | 62% |    | 4,5   |
| Step 3 (gambe)                               | 85% | 0%  | 0%  |     |     |    | 1,0   |
| RIGHT Step 7 (posizione del braccio dx)      | 6%  | 17% | 50% | 22% | 5%  | 0% | 3,0   |
| RIGHT Step 8 (posizione dell'avambraccio dx) | 51% | 49% |     |     |     |    | 1,5   |
| RIGHT Step 9 (posizione del polso dx)        | 17% | 40% | 43% |     |     |    | 2,3   |
| LEFT Step 7 (posizione del braccio sx)       | 5%  | 16% | 65% | 11% | 2%  | 0% | 2,9   |
| LEFT Step 8 (posizione dell'avambraccio sx)  | 42% | 58% |     |     |     |    | 1,6   |
| LEFT Step 9 (posizione del polso sx)         | 12% | 36% | 52% |     |     |    | 2,4   |

#### Monitoraggio sottovuoto inferiore:

| Attribute                                    | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6  | Media |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|----|-------|
| Step 1 (posizione del collo)                 | 10% | 44% | 46% |     |     |    | 2,4   |
| Step 2 (posizione del tronco)                | 0%  | 2%  | 13% | 35% | 50% |    | 4,3   |
| Step 3 (gambe)                               | 47% | 3%  | 42% |     |     |    | 1,9   |
| RIGHT Step 7 (posizione del braccio dx)      | 12% | 26% | 38% | 18% | 5%  | 1% | 2,8   |
| RIGHT Step 8 (posizione dell'avambraccio dx) | 54% | 46% |     |     |     |    | 1,5   |
| RIGHT Step 9 (posizione del polso dx)        | 6%  | 40% | 54% |     |     |    | 2,5   |
| LEFT Step 7 (posizione del braccio sx)       | 11% | 26% | 42% | 17% | 4%  | 1% | 2,8   |
| LEFT Step 8 (posizione dell'avambraccio sx)  | 50% | 50% |     |     |     |    | 1,5   |
| LEFT Step 9 (posizione del polso sx)         | 9%  | 38% | 53% |     |     |    | 2,4   |

**Figura 126-Punteggio medio di ogni step**

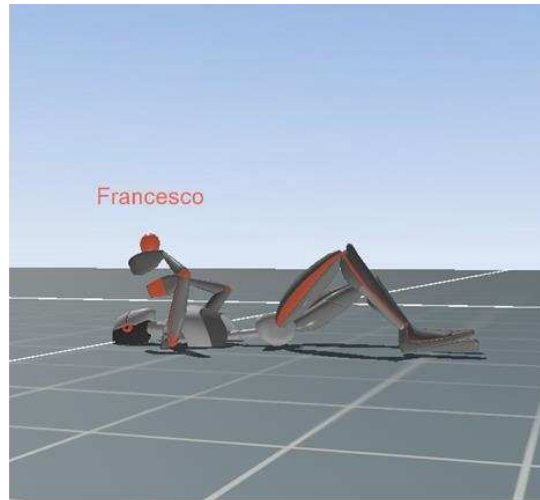
Per l'attività di sottovuoto superiore si ha che la posizione del tronco, dell'avambraccio sx e del polso sx sono caratterizzati, secondo una scala qualitativa definita, da un livello di criticità per l'operatore alto, mentre le gambe risultano essere a criticità bassa. Quest'ultima è giustificata dall'attività che, prevalentemente, non prevede la flessione delle ginocchia. Tutti gli altri step hanno un livello di criticità medio o medio-alto. Il punteggio medio più critico, come dimostrano anche le immagini sottostanti, è quello relativo alla posizione del tronco, che in percentuale di tempo più rilevante assume una flessione in avanti superiore a 60° con l'aggiunta di rotazione o flessione laterale.



***Figura 127-Flessione del tronco critica durante il sottovuoto superiore***

La postura dell'operatore, indubbiamente critica, è legata alla geometria spigolosa e cava del componente e all'attività stessa che prevede la sistemazione del sacco in modo che arrivi a toccare tutte le superfici, per la corretta esecuzione del vuoto.

Per l'attività di sottovuoto inferiore, si evince che la posizione di collo, tronco e polso (destra e sinistra) è caratterizzata da un livello di criticità alto, mentre tutti gli altri step presentano una criticità media o medio-alta. In questo caso, poiché il tronco è appoggiato per un certo tempo sulla superficie in gomma, il punteggio medio risulta leggermente più basso rispetto alla fase di sottovuoto superiore. Il valore più rilevante è stato rilevato sempre nello step 2, per gli stessi motivi precedentemente indicati. Diversamente dal caso precedente, le gambe sono state caratterizzate da una criticità medio-alta per l'operatore, a causa della flessione prolungata delle ginocchia per una percentuale significativa di tempo.



**Figura 128-Postura critica durante il sottovuoto inferiore**

Come per il componente precedente, è stata effettuata una valutazione posturale dello stesso operatore, durante le attività di messa in posa dell'assorbitore e di sottovuoto del componente PASSARUOTA DUQUEINE carrellato. I grafici conclusivi presenti mostrano, per la parte destra e la parte sinistra, la percentuale del tempo di monitoraggio in cui il punteggio REBA assume i valori della scala corrispondente, identificando un livello di rischio trascurabile, basso, medio, alto e veramente alto, dell'attività di inserimento dell'assorbitore e del sottovuoto.

Risultati monitoraggio messa dell'assorbitore:



**Figura 129-Grafici conclusivi che mostrano, per entrambi i lati, la percentuale del tempo di monitoraggio in cui il punteggio REBA assume i valori della scala corrispondente, identificando un livello di rischio trascurabile, basso, medio, alto e veramente alto per l'attività di inserimento assorbitore**

Risultati monitoraggio attività di sottovuoto:



**Figura 130-Grafici conclusivi che mostrano, per entrambi i lati, la percentuale del tempo di monitoraggio in cui il punteggio REBA assume i valori della scala corrispondente, identificando un livello di rischio trascurabile, basso, medio, alto e veramente alto per l'attività di sottovuoto**

I punteggi medi del REBA, calcolati per entrambi i lati del corpo nelle due attività, mostrano solo lievi differenze tra i due lati e indicano complessivamente un livello di rischio medio. Come si evince dai grafici, l'attività di sottovuoto presenta una criticità posturale leggermente maggiore rispetto a quella di inserimento dell'assorbitore. È chiaro che, anche con l'ausilio del carrello, le operazioni di inserimento dell'assorbitore e la fase di sottovuoto presentano una criticità posturale significativa per l'operatore, a causa della geometria del componente e della necessità di eseguire movimenti poco ergonomici per raggiungere aree cave e spigolose.

Le tabelle sottostanti mostrano, per le due attività, i punteggi medi per singolo step, indicando le percentuali di tempo per cui ciascun valore della scala corrispondente è presente nello step di riferimento.

Attività di inserimento assorbitore:

| Attribute                                    | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6  | Media |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|----|-------|
| Step 1 (posizione del collo)                 | 12% | 48% | 40% |     |     |    | 2,3   |
| Step 2 (posizione del tronco)                | 0%  | 5%  | 23% | 40% | 32% |    | 4,0   |
| Step 3 (gambe)                               | 93% | 1%  | 6%  |     |     |    | 1,1   |
| RIGHT Step 7 (posizione del braccio dx)      | 5%  | 17% | 50% | 24% | 4%  | 0% | 3,1   |
| RIGHT Step 8 (posizione dell'avambraccio dx) | 41% | 59% |     |     |     |    | 1,6   |
| RIGHT Step 9 (posizione del polso dx)        | 19% | 49% | 32% |     |     |    | 2,1   |
| LEFT Step 7 (posizione del braccio sx)       | 8%  | 23% | 57% | 12% | 0%  | 0% | 2,7   |
| LEFT Step 8 (posizione dell'avambraccio sx)  | 34% | 66% |     |     |     |    | 1,7   |
| LEFT Step 9 (posizione del polso sx)         | 14% | 43% | 43% |     |     |    | 2,3   |

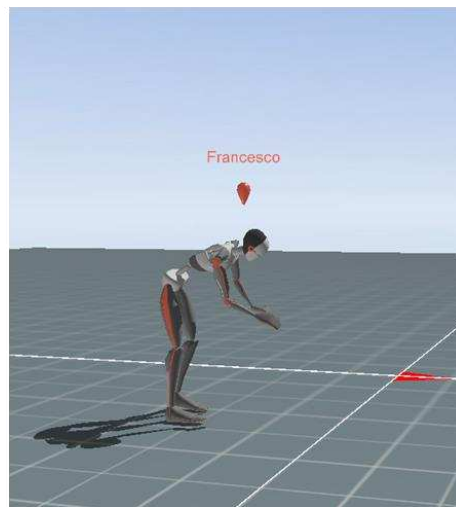
**Figura 131-Punteggio medio di ogni step attività assorbitore**

## Attività di sottovuoto:

| Attribute                                    | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6  | Media |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|----|-------|
| Step 1 (posizione del collo)                 | 12% | 50% | 38% |     |     |    | 2,3   |
| Step 2 (posizione del tronco)                | 0%  | 5%  | 17% | 55% | 24% |    | 4,0   |
| Step 3 (gambe)                               | 92% | 0%  | 8%  |     |     |    | 1,2   |
| RIGHT Step 7 (posizione del braccio dx)      | 0%  | 7%  | 42% | 39% | 10% | 1% | 3,5   |
| RIGHT Step 8 (posizione dell'avambraccio dx) | 49% | 51% |     |     |     |    | 1,5   |
| RIGHT Step 9 (posizione del polso dx)        | 0%  | 6%  | 94% |     |     |    | 2,9   |
| LEFT Step 7 (posizione del braccio sx)       | 4%  | 18% | 63% | 13% | 1%  | 0% | 2,9   |
| LEFT Step 8 (posizione dell'avambraccio sx)  | 48% | 52% |     |     |     |    | 1,5   |
| LEFT Step 9 (posizione del polso sx)         | 0%  | 3%  | 97% |     |     |    | 3,0   |

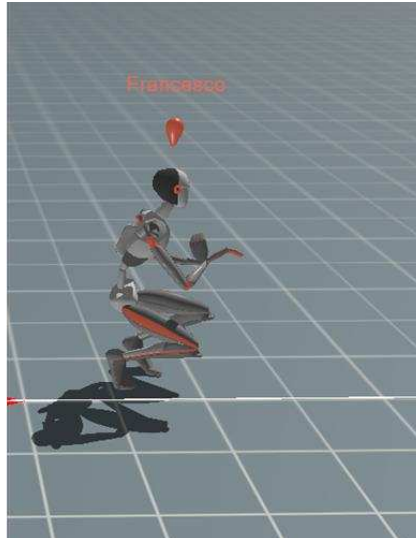
**Figura 132-Punteggio medio di ogni step attività sottovuoto**

Per quanto riguarda l'inserimento dell'assorbitore si ha che la posizione del tronco, dell'avambraccio dx e sx sono caratterizzati, secondo una scala qualitativa definita, da un livello di criticità per l'operatore alto, mentre le gambe risultano essere a criticità bassa. Quest'ultima è giustificata dall'attività che, prevalentemente, non prevede la flessione delle ginocchia. Tutti gli altri step hanno un livello di criticità medio o medio-alto. Il punteggio medio più critico, come dimostrano anche le immagini sottostanti, è quello relativo alla posizione dell'avambraccio sx, che in percentuale di tempo più rilevante assume una flessione maggiore di 100° o compresa tra 0-60°.



**Figura 133-Inserimento assorbitore nel reparto Autoclave**

Per quanto riguarda l'attività di sottovuoto si ha che la posizione del tronco, del polso dx e sx sono caratterizzati da una criticità per l'operatore alta. Tutti gli altri step hanno un livello di criticità medio o medio-alto. I punteggi medi più critici sono quelli relativi alla posizione del polso dx e sx, che nella quasi totalità del tempo di monitoraggio assumono una flessione maggiore di  $15^\circ$  o di  $-15^\circ$  con aggiunta di rotazione o spostamento dalla linea mediana.



*Figura 134-Attività sottovuoto nel reparto Autoclave*

## CONCLUSIONI

L'analisi condotta sull'ergonomia cognitiva ha rivelato una significativa variabilità nel livello di stress percepito dai lavoratori durante l'intera giornata lavorativa. Inoltre, il livello di stress a fine turno è stato sempre maggiore rispetto a quello di inizio turno. Questa fluttuazione è sicuramente influenzata dalla presenza di uno o più fattori che determinano questi cambiamenti. È complesso capire quando questi sono legati esclusivamente allo stato emotivo del lavoratore e quando, invece, ritrovano una corrispondenza reale nella criticità del pezzo. La mancanza di piena consapevolezza da parte dell'individuo del proprio livello di stress è uno dei limiti umani principali: spesso non si riesce a percepire e interpretare correttamente l'impatto dello stress mentale accumulato. Questo può essere evidente in alcuni risultati, dove, per esempio, un punteggio elevato nello STAI DI STATO alla fine del turno, indicativo di un livello alto di ansia, non trova corrispondenza nel livello di stress percepito riportato nello stesso momento. Inoltre, gran parte dei risultati ha confermato l'elevata richiesta fisica e mentale dell'attività di laminazione, evidenziando anche una significativa percezione della pressione temporale da parte degli operatori. L'invito è quello di continuare a sensibilizzare l'importanza di questo tema, il campo in cui opera e i vantaggi

che, in futuro, potrebbe dare sul benessere delle persone e sull'efficienza nel lavoro. È fondamentale incitare la ricerca a non deve fermarsi, ma bensì continuare a raccogliere una mole di dati maggiore, con l'ausilio di tecnologie sempre più all'avanguardia, in modo da poter raggiungere risultati più oggettivi e validati. Il passo successivo di questa attività di ricerca, come già detto, sarà quello di far elaborare i dati raccolti con i monitoraggi e i questionari da un algoritmo di machine learning che inizierà a fornire i primi risultati utili allo studio. Questa visione innovativa e human-centered, se adeguatamente supportata da una ricerca continua, ha il potenziale di creare ambienti di lavoro dove il benessere e la produttività possano coesistere. L'analisi condotta sull'ergonomia fisica, invece, ha evidenziato la criticità posturale legata all'inserimento dell'assorbitore e alla creazione del sottovuoto per componenti, come quelli oggetti di studio, dalle geometrie complesse caratterizzate da spigoli e cavità. Le valutazioni effettuate hanno rilevato un livello di rischio posturale medio per l'operatore, indipendentemente dall'utilizzo del carrello. Questo indica che, sebbene il carrello possa migliorare la situazione per componenti con geometrie più semplici e superfici lisce, non elimina le problematiche legate ai componenti strutturalmente più complessi. Infatti, come già discusso nel capitolo precedente, la postura poco ergonomica richiesta all'operatore è determinata non solo dalle caratteristiche strutturali del pezzo, ma anche dalla attenzione necessaria per la corretta esecuzione delle attività. Un'idea operativa per l'azienda potrebbe essere la creazione di una classificazione specifica dei componenti in base alla geometria. Tale classificazione consentirebbe di stabilire una lista di priorità per l'adozione di strumenti di supporto, come gli esoscheletri, capaci di ridurre significativamente il carico fisico per l'operatore. Questo approccio proattivo migliorerebbe la sicurezza e il comfort degli operatori, mitigando il rischio di infortuni e favorendo una produzione più orientata al benessere del lavoratore.

## SITOGRAFIA

<https://www.ars-tech.com/> [1]

[https://learn.univpm.it/pluginfile.php/1000908/mod\\_resource/content/1/L01%20HCM.pdf](https://learn.univpm.it/pluginfile.php/1000908/mod_resource/content/1/L01%20HCM.pdf) [2]

<https://www.clickmaint.com/glossary/human-centric-manufacturing#:~:text=It%20is%20based%20on%20the,designing%20and%20implementing%20production%20systems> [3]

<https://www.ericsson.com/en/about-us/new-world-of-possibilities/imagine-possible-perspectives/industry5-0-human-centric-manufacturing/> [4]

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0278612522000164> [5]

<https://blog.fandis.com/en/sci-fa-en/industry-5-0-the-new-era-of-intelligent-and-human-centric-manufacturing/> [6]

<https://robofeed.it/en/human-centric-industry-what-is-new-in-the-5-0-paradigm/> [7]

<https://www.industry4business.it/connected-enterprise/industria-5-0-cose-e-come-cambia-modo-difare-impresa/> [8]

<https://www.corrierecomunicazioni.it/digital-economy/industria-5-0-cose-e-come-impattera-sulle-aziende/> [9]

<https://www.teamsystem.com/magazine/manufacturing/industria-5-0-futuro-aziende/#:~:text=Le%20sfide%20dell'Industria%205.0&text=Acquisire%20una%20maggiore%20responsabilit%C3%A0%20sociale,conseguenza%2C%20un%20aumento%20dei%20costi.> [10]

[https://www.istat.it/storage/15-Conferenza-nazionale-statistica/poster/02\\_13\\_Di%20Paolo\\_POSTER.pdf](https://www.istat.it/storage/15-Conferenza-nazionale-statistica/poster/02_13_Di%20Paolo_POSTER.pdf) [11]

<https://perpranzo.it/blog/piramide-dei-bisogni-di-maslow-come-si-applica-sul-lavoro/> [12]

[https://learn.univpm.it/pluginfile.php/920025/mod\\_resource/content/1/2\\_Produzione\\_sostenibile\\_pr otetto.pdf](https://learn.univpm.it/pluginfile.php/920025/mod_resource/content/1/2_Produzione_sostenibile_pr otetto.pdf) [13]

[https://temi.camera.it/leg19DIL/area/19\\_1\\_38/agenda-2030.html#:~:text=Cos'%C3%A8%20l'Agenda%20ONU%202030&text=L'Agenda%202030%20i mpegna%20tutti,e%20in%20via%20di%20sviluppo.](https://temi.camera.it/leg19DIL/area/19_1_38/agenda-2030.html#:~:text=Cos'%C3%A8%20l'Agenda%20ONU%202030&text=L'Agenda%202030%20i mpegna%20tutti,e%20in%20via%20di%20sviluppo.) [14]

[https://www.istat.it/wp-content/uploads/2014/12/stat-sicurezza\\_def.pdf](https://www.istat.it/wp-content/uploads/2014/12/stat-sicurezza_def.pdf) [15]

[https://www.istat.it/it/files/2021/11/Salute\\_e\\_sicurezza\\_sul\\_lavoro\\_-2020\\_Istat\\_Eurostat.pdf](https://www.istat.it/it/files/2021/11/Salute_e_sicurezza_sul_lavoro_-2020_Istat_Eurostat.pdf) [16]

[https://www.ciip-consulta.it/attachments/article/1252/HWC\\_20-22\\_MSDs\\_PPT\\_Statistics.pdf](https://www.ciip-consulta.it/attachments/article/1252/HWC_20-22_MSDs_PPT_Statistics.pdf) [17]

[https://asfo.sanita.fvg.it/export/sites/aas5/it/servizi/documenti/territorio/dipartimento\\_prevenzione/s icurezza\\_prevenzione\\_ambienti\\_lavoro/opuscolo\\_stress\\_stampabile.pdf](https://asfo.sanita.fvg.it/export/sites/aas5/it/servizi/documenti/territorio/dipartimento_prevenzione/s icurezza_prevenzione_ambienti_lavoro/opuscolo_stress_stampabile.pdf) [18]

[https://www.unipr.it/sites/default/files/allegatiparagrafo/09-02-2017/valutazione\\_stress\\_lavoro\\_correlato.pdf](https://www.unipr.it/sites/default/files/allegatiparagrafo/09-02-2017/valutazione_stress_lavoro_correlato.pdf) [19]

<https://scienzemotorie.altervista.org/biomeccanica/> [20]

<https://www.centro-ergonomia.it/ergonomia> [21]

<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/cognitive-ergonomics> [22]

<https://oshwiki.osha.europa.eu/en/themes/cognitive-ergonomics> [23]

<https://webthesis.biblio.polito.it/25212/1/tesi.pdf> [24]

<https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA215405.pdf> [25]

<https://www.janssenmedicalcloud.it/it-it/services/news-center/blt81fd0235743424c5> [26]

<https://www.empatica.com/en-eu/embraceplus/#embraceplus--static-sequence> [27]

<https://www.zephyranywhere.com/> [28]

<https://www.movella.com/products/motion-capture> [29]

[https://www.researchgate.net/publication/358426874\\_Outlook\\_on\\_human-centric\\_manufacturing\\_towards\\_Industry\\_50](https://www.researchgate.net/publication/358426874_Outlook_on_human-centric_manufacturing_towards_Industry_50) [30]

## INDICE DELLE FIGURE

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1-Evoluzione Industriale</b> .....   | 8  |
| <b>Figura 2-Numero di imprese coinvolte per tipologia di indagini dirette</b> .....  | 10 |
| <b>Figura 3-Percentuale di alto livello di digitalizzazione 5.0</b> .....  | 11 |
| <b>Figura 4-Percentuale di utilizzo di dati prodotti da sensori o sistemi intelligenti</b> .....   | 11 |
| <b>Figura 5-Percentuale di utilizzo di tecnologie AI</b> .....   | 11 |
| <b>Figura 6-Evoluzione del lavoratore</b> .....  | 12 |
| <b>Figura 7-Evoluzione dei bisogni del lavoratore</b> .....  | 13 |
| <b>Figura 8-Evoluzione della collaborazione uomo-macchina</b> .....  | 15 |
| <b>Figura 9-Pilastro Europeo dei Diritti sociali</b> .....   | 16 |
| <b>Figura 10-Agenda ONU 2030</b> .....   | 18 |
| <b>Figura 11- Tasso di infortuni sul lavoro in diversi settori economici nel 2007 e nel 2013</b> .....   | 21 |
| <b>Figura 12-Principali problematiche di salute nel 2007 e nel 2013</b> .....  | 22 |
| <b>Figura 13-Tasso di infortunio per settore di attività economica nel 2013 e nel 2020</b> .....   | 23 |
| <b>Figura 14-Problematiche di salute dovute al lavoro nel 2013 e nel 2020</b> .....  | 23 |
| <b>Figura 15-Percentuale di lavoratori che riferiscono un problema di salute legato al lavoro per tipo di problema</b> .....                       | 24 |
| <b>Figura 16-Percentuale di lavoratori che riportano DMS nei diversi settori</b> .....   | 25 |
| <b>Figura 17-Confronto tra la percentuale di uomini e donna con DMS</b> .....  | 26 |
| <b>Figura 18-Impatto del gruppo di età sulla percentuale di DMS</b> .....  | 26 |
| <b>Figura 19-Impatto del livello di istruzione sulla probabilità di contrarre DMS</b> .....  | 27 |
| <b>Figura 20-Percentuale di infortuni dei lavoratori affetti da DMS per tipologia di infortunio</b> .  | 27 |
| <b>Figura 21-Percentuale di lavoratori che percepiscono carichi di lavoro eccessivi per settore di attività economica</b> .....                    | 28 |
| <b>Figura 22-Percentuale di dipendenti che lavorano in aziende in cui sono in vigore misure di prevenzione ai rischi da lavoro correlato</b> ..... | 29 |
| <b>Figura 23-Assi anatomici</b> .....  | 32 |
| <b>Figura 25-Sistemi inerziali e sistemi Vision-Based</b> .....  | 34 |
| <b>Figura 27-Step 1-3 REBA</b> .....   | 37 |
| <b>Figura 28-Table A REBA</b> .....  | 37 |
| <b>Figura 29-Step 4 REBA</b> .....   | 38 |
| <b>Figura 30-Step 5 REBA</b> .....   | 38 |
| <b>Figura 31-Step 6 REBA</b> .....   | 38 |
| <b>Figura 32-Step 7-8-9 REBA</b> .....   | 39 |
| <b>Figura 33-Table B REBA</b> .....  | 39 |
| <b>Figura 34-Step 10 REBA</b> .....  | 39 |
| <b>Figura 35-Step 11 REBA</b> .....  | 40 |
| <b>Figura 36-Step 12 REBA</b> .....  | 40 |
| <b>Figura 37-Table C REBA</b> .....  | 40 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 38-Step 13 REBA</b> .....   | 41 |
| <b>Figura 39-Punteggio REBA finale</b> .....  | 41 |
| <b>Figura 40-Questionario NASA-TLX parte 1</b> .....  | 44 |
| <b>Figura 41-Questionario NASA-TLX parte 2</b> .....  | 45 |
| <b>Figura 42-Legenda qualitativa NASA-TLX</b> .....   | 45 |
| <b>Figura 43-Questionario STAI TRATTO</b> .....   | 46 |
| <b>Figura 44-Legenda qualitativa STAI TRATTO</b> .....  | 46 |
| <b>Figura 45-Questionario STAI DI STATO</b> .....   | 47 |
| <b>Figura 46-Dispositivi indossabili di raccolta dei parametri vitali</b> .....   | 48 |
| <b>Figura 47-Azienda ARS TECH</b> .....   | 51 |
| <b>Figura 48-Telaio Monoscocca</b> .....  | 53 |
| <b>Figura 49-Laminazione di un componente</b> .....   | 55 |
| <b>Figura 50-Protocollo di valutazione dello stress</b> .....   | 56 |
| <b>Figura 51-Orologio Embrace Plus di Empatica</b> .....  | 58 |
| <b>Figura 52-Software Empatica</b> .....  | 58 |
| <b>Figura 53-Fascia toracica BioHarness 3-Zephyr</b> .....  | 59 |
| <b>Figura 54-Corretto posizionamento della fascia</b> .....   | 59 |
| <b>Figura 55-Livelli di criticità dei componenti da sistema Gestionale aziendale</b> .....  | 60 |
| <b>Figura 56-Operatori coinvolti nello studio</b> .....   | 61 |
| <b>Figura 57-Fasi standard della Laminazione</b> .....  | 62 |
| <b>Figura 58-Voce "Generale" del PlayBook</b> .....   | 62 |
| <b>Figura 59-Voce "Localizzato" del PlayBook</b> .....  | 62 |
| <b>Figura 60-Voce "Parziale" del PlayBook</b> .....   | 62 |
| <b>Figura 61-Template ALA TATUUS EUROPA</b> .....   | 64 |
| <b>Figura 62-Template ORECA VANE</b> .....  | 64 |
| <b>Figura 63-Template SPLITTER ORECA GT3</b> .....  | 65 |
| <b>Figura 64-Tabella dei monitoraggi effettuati</b> .....   | 66 |
| <b>Figura 65- Tabella per la raccolta di data, operatore e orario di inizio e fine dell'evento/prodotto per ogni monitoraggio</b> ..... | 67 |
| <b>Figura 66-Template compilato di un monitoraggio</b> .....  | 68 |
| <b>Figura 67-Attività di inserimento dell'assorbitore e del sottovuoto nel reparto autoclave</b> .....                                  | 70 |
| <b>Figura 68-Tecnologia Xsens e software Xsens Analyze</b> .....  | 71 |
| <b>Figura 69-Interfaccia 1 Tool REBA</b> .....  | 71 |
| <b>Figura 70-Interfaccia 2 Tool REBA</b> .....  | 72 |
| <b>Figura 71-Intervista sul livello di criticità per fase del componente ALA ORECA GT3</b> .....  | 74 |
| <b>Figura 72-Componente ALA ORECA GT3</b> .....   | 74 |
| <b>Figura 73-Intervista sul livello di criticità per fase del componente ALA TATUUS EUROPA</b> .....                                    | 75 |
| <b>Figura 74-Componente ALA TATUUS EUROPA</b> .....   | 75 |
| <b>Figura 75-Intervista sul livello di criticità per fase del componente BRANCARDO HELEN</b> .....                                      | 76 |
| <b>Figura 76-Componente BRANCARDO HELEN</b> .....   | 76 |
| <b>Figura 77-Intervista sul livello di criticità per fase del componente FENDER PAMELA</b> .....  | 77 |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Figura 78-FENDER PAMELA .....</b>  | <b>77</b> |
| <b>Figura 79-Intervista sul livello di criticità per fase del componente MUSESTO TATUUS.....</b>  | <b>78</b> |
| <b>Figura 80-Componente MUSESTO TATUUS .....</b>  | <b>78</b> |
| <b>Figura 81-Intervista sul livello di criticità per fase del componente ORECA UNDERFLOOR LMP2C.....</b>                                      | <b>79</b> |
| <b>Figura 82-Componente ORECA UNDERFLOOR LMP2C.....</b>   | <b>79</b> |
| <b>Figura 83-Intervista sul livello di criticità per fase del componente ORECA VANE .....</b>   | <b>80</b> |
| <b>Figura 84-Componente ORECA VANE .....</b>  | <b>80</b> |
| <b>Figura 85-Intervista sul livello di criticità per fase del componente SPLITTER ORECA GT3 .....</b>   | <b>81</b> |
| <b>Figura 86-Componente SPLITTER ORECA GT3 .....</b>  | <b>81</b> |
| <b>Figura 87-Intervista sul livello di criticità per fase del componente REAR FLAP TATUUS F3R .....</b>                                       | <b>82</b> |
| <b>Figura 88-Componente REAR FLAP TATUUS F3R.....</b>   | <b>82</b> |
| <b>Figura 89-Intervista sul livello di criticità per fase del componente FENDER PAMELA GT382</b>  | <b>83</b> |
| <b>Figura 90-Componente FENDER PAMELA GT3 .....</b>   | <b>83</b> |
| <b>Figura 91-Intervista sul livello di criticità per fase del componente REAR SPOILER SIMON .....</b>   | <b>83</b> |
| <b>Figura 92-Componente REAR SPOILER SIMON .....</b>  | <b>84</b> |
| <b>Figura 93-Risultati dello Stress Level riferito dall'operatrice in diversi momenti dei tre monitoraggi.....</b>                            | <b>85</b> |
| <b>Figura 94-Risultati STAI DI STATO.....</b>   | <b>85</b> |
| <b>Figura 95-Template delle attività di laminazione effettuate nei rispettivi intervalli di tempo .</b>                                       | <b>86</b> |
| <b>Figura 96-Risultati NASA-TLX.....</b>  | <b>86</b> |
| <b>Figura 97-Risultati dello Stress Level riferito dall'operatrice in diversi momenti dei due monitoraggi.....</b>                            | <b>87</b> |
| <b>Figura 98-Risultati STAI DI STATO.....</b>   | <b>87</b> |
| <b>Figura 99-Template delle attività di laminazione effettuate nei rispettivi intervalli di tempo .</b>                                       | <b>88</b> |
| <b>Figura 100-Risultati NASA-TLX.....</b>   | <b>89</b> |
| <b>Figura 101-Risultati dello Stress Level riferito dall'operatrice in diversi momenti dei due monitoraggi.....</b>                           | <b>89</b> |
| <b>Figura 102-Risultati NASA-TLX.....</b>   | <b>90</b> |
| <b>Figura 103-Template delle attività di laminazione effettuate nei rispettivi intervalli di tempo dei giorni 5/08/2024 e 6/08/2024 .....</b> | <b>91</b> |
| <b>Figura 104-Risultati NASA-TLX.....</b>   | <b>91</b> |
| <b>Figura 105-Risultati dello Stress Level riferito dall'operatrice in diversi momenti del monitoraggio.....</b>                              | <b>92</b> |
| <b>Figura 106-Risultati STAI DI STATO.....</b>  | <b>92</b> |
| <b>Figura 107-Template delle attività di laminazione effettuate nei rispettivi intervalli di tempo</b>  | <b>93</b> |
| <b>Figura 108-Risultati NASA-TLX.....</b>   | <b>94</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Figura 109-Grafici conclusivi che mostrano, per entrambi i lati, la percentuale del tempo di monitoraggio in cui il punteggio REBA assume i valori della scala corrispondente, identificando un livello di rischio trascurabile, basso, medio, alto e veramente alto.....</b>  | <b>95</b>  |
| <b>Figura 110-Grafico a linea che mostra per il lato destro l'andamento del punteggio REBA nel tempo.....</b>   | <b>97</b>  |
| <b>Figura 111-Grafico a linea che mostra per il lato sinistro l'andamento del punteggio REBA nel tempo.....</b>   | <b>97</b>  |
| <b>Figura 112-Frame 13560(immagine a Sx) e Frame 13580( immagine a Dx) .....</b>  | <b>98</b>  |
| <b>Figura 113-Step REBA Frame 1590 .....</b>  | <b>98</b>  |
| <b>Figura 114-Step REBA Frame 7280 .....</b>  | <b>99</b>  |
| <b>Figura 115-Step REBA Frame 16960 .....</b>   | <b>99</b>  |
| <b>Figura 116-Step REBA Frame 15750 .....</b>   | <b>100</b> |
| <b>Figura 117-Step REBA Frame 18870 .....</b>   | <b>100</b> |
| <b>Figura 118-Step REBA Frame 4340 .....</b>  | <b>101</b> |
| <b>Figura 119-Step REBA Frame 6640 .....</b>  | <b>101</b> |
| <b>Figura 120-Step REBA pari a 1 .....</b>  | <b>102</b> |
| <b>Figura 121-Percentuale di tempo rispetto al totale in cui viene assunto un punteggio della corrispondente scala di valori per singola parte relativa al lato destro .....</b>  | <b>103</b> |
| <b>Figura 122-Percentuale di tempo rispetto al totale in cui viene assunto un punteggio della corrispondente scala di valori per singola parte relativa al lato sinistro .....</b>  | <b>104</b> |
| <b>Figura 123-Percentuale di tempo rispetto al totale in cui viene assunto un punteggio della corrispondente scala di valori per collo, tronco e gambe .....</b>  | <b>106</b> |
| <b>Figura 124-Percentuale di tempo rispetto al totale in cui viene assunto un punteggio della corrispondente scala di valori per la forza/carico e flessione delle ginocchia .....</b>  | <b>106</b> |
| <b>Figura 125-Punteggio medio di ogni step.....</b>   | <b>107</b> |
| <b>Figura 126-Inserimento assorbitore nel reparto Autoclave .....</b>   | <b>107</b> |
| <b>Figura 127-Grafici conclusivi che mostrano, per entrambi i lati, la percentuale del tempo di monitoraggio in cui il punteggio REBA assume i valori della scala corrispondente, identificando un livello di rischio trascurabile, basso, medio, alto e veramente alto.....</b>  | <b>108</b> |
| <b>Figura 128-Punteggio medio di ogni step.....</b>   | <b>109</b> |
| <b>Figura 129-Flessione del tronco critica durante il sottovuoto superiore .....</b>  | <b>110</b> |
| <b>Figura 130-Postura critica durante il sottovuoto inferiore .....</b>   | <b>111</b> |
| <b>Figura 131-Grafici conclusivi che mostrano, per entrambi i lati, la percentuale del tempo di monitoraggio in cui il punteggio REBA assume i valori della scala corrispondente, identificando un livello di rischio trascurabile, basso, medio, alto e veramente alto per l'attività di inserimento assorbitore .....</b> | <b>111</b> |
| <b>Figura 132-Grafici conclusivi che mostrano, per entrambi i lati, la percentuale del tempo di monitoraggio in cui il punteggio REBA assume i valori della scala corrispondente, identificando un livello di rischio trascurabile, basso, medio, alto e veramente alto per l'attività di sottovuoto .....</b>              | <b>112</b> |
| <b>Figura 133-Punteggio medio di ogni step attività assorbitore .....</b>   | <b>112</b> |
| <b>Figura 134-Punteggio medio di ogni step attività sottovuoto.....</b>   | <b>113</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Figura 135-Inserimento assorbitore nel reparto Autoclave .....</b> | <b>113</b> |
| <b>Figura 136-Attività sottovuoto nel reparto Autoclave .....</b>     | <b>114</b> |