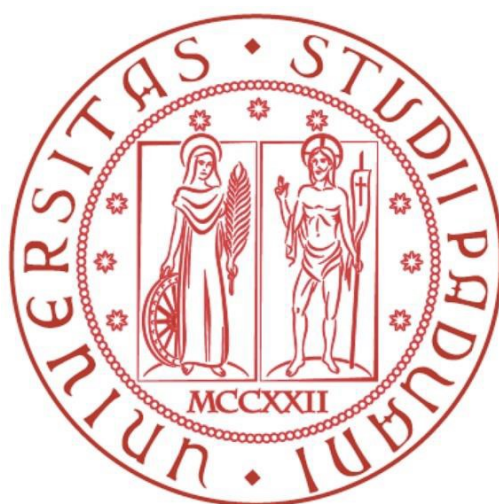


# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali

Corso di laurea in Ingegneria Gestionale



Studio dell'ergonomia delle postazioni di lavoro

Relatore: Prof. Zennaro Ilenia

Laureando: Gardellin Marta

Anno Accademico 2022/2023



# INDICE

---

---

|   |    |
|---|----|
| Indice .....                                | I  |
| Introduzione.....                           | 1  |
| 1 Studio del layout.....                    | 3  |
| Caratteristiche studio layout .....         | 3  |
| Livelli dello studio del layout.....        | 3  |
| Quando utilizzare lo studio del layout..... | 4  |
| Le fasi del layout .....                    | 4  |
| Algoritmi studio layout .....               | 5  |
| Tipologie di produzione.....                | 5  |
| Zona I: Produzione in linea .....           | 6  |
| Zona II: Produzione in reparti .....        | 8  |
| Zona III: Produzione in celle.....          | 9  |
| Zona IV: Produzione su commessa.....        | 11 |
| 2 Ergonomia.....                            | 13 |
| Normative .....                             | 14 |
| Indici .....                                | 15 |
| Scala Borg.....                             | 16 |
| Metodo OWAS .....                           | 19 |
| Fase 1: Codice della postura.....           | 19 |
| Fase 2: Categoria di rischio.....           | 21 |
| Fase 3: Indice OWAS.....                    | 22 |
| Metodo RULA .....                           | 23 |
| Metodo REBA .....                           | 28 |
| Metodo STRAIN INDEX .....                   | 33 |
| Metodo OCRA .....                           | 34 |
| Metodo NIOSH.....                           | 36 |
| Metodo Snook e Ciriello.....                | 38 |
| 3 Workstation.....                          | 41 |
| Progettazione Workstation.....              | 42 |
| Raccolta informazioni .....                 | 42 |
| Popolazione di utenti.....                  | 43 |

|   |                               |    |
|---|-------------------------------|----|
|   | Dimensioni workstation .....  | 45 |
|   | Modello e simulazioni.....    | 48 |
| 4 | Casi studio.....              | 53 |
|   | Primo caso studio.....        | 53 |
|   | Secondo caso studio.....      | 56 |
|   | Confronto tra i due casi..... | 60 |
| 5 | Conclusioni.....              | 61 |
| 6 | Bibliografia.....             | 63 |

# INTRODUZIONE

---

Al giorno d'oggi le aziende, per rimanere competitive e redditizie, soprattutto per via dell'estrema concorrenza da parte delle aziende situate in nazioni extra-europee, devono incrementare la loro produttività in modo efficiente e sostenibile.

Per anni le aziende hanno aumentato la loro produttività ottimizzando i tempi di produzione e gli spazi a disposizione dell'azienda, spesso a discapito della salute degli operatori. Questo modo di affrontare il problema, tuttavia, porta nella maggior parte dei casi al risultato opposto. La quarta rivoluzione industriale ha messo in luce l'importanza della salute e della sicurezza sul lavoro degli operatori, nonché il benessere e la soddisfazione, facendo di essi i principi cardine dell'industria 4.0.

In questo contesto, un ruolo importante è svolto dall'ergonomia del lavoro. Anche se l'ergonomia comprende tre diverse categorie che si occupano degli aspetti fisici, cognitivi e organizzativi dell'interazione tra esseri umani e sistemi, questo documento si concentra principalmente sugli aspetti legati a quello fisico.

Lo studio dell'ergonomia è importante per diverse ragioni: aumenta la sicurezza dei lavoratori, incrementa la produttività, migliora la qualità, riduce l'assenteismo causato da infortuni e garantisce il rispetto delle normative.

Negli ultimi anni, a dimostrazione dell'importanza che ricopre l'ergonomia nei sistemi produttivi, sono stati proposti una molteplicità di studi volti ad analizzare problemi tradizionali del mondo aziendale e cercando di coniugarli a nuovi obiettivi di efficienza ergonomica. Queste analisi riguardano la progettazione delle postazioni tramite l'utilizzo di software per la simulazione virtuale (Bruno et al., 2020), ma anche la considerazione delle differenze dei lavoratori nei sistemi produttivi (Katirae et al., 2021).

In questo testo ci si concentrerà sulla progettazione delle postazioni di lavoro e sull'utilizzo degli indici ergonomici in tale progettazione, con lo scopo di identificare i possibili rischi a cui sono soggetti gli operatori, in modo tale da poterli correggere per garantire il benessere dell'operatore.

Il primo capitolo presenta lo studio del layout in modo generico: si andrà a esporre le principali caratteristiche di tale studio, quando è necessario farlo, le fasi da seguire per uno studio sistematico. Si andranno inoltre ad analizzare le varie tipologie di produzione, con le loro caratteristiche, punti di forza e svantaggi.

Il secondo capitolo è dedicato allo studio dell'ergonomia e degli indici ergonomici. Verranno esposti alcuni degli indici ergonomici più utilizzati, le normative tecniche che li standardizzano, la loro struttura, il campo di applicazione e le tabelle da utilizzare per poter ricavare il valore dell'indice. Il capitolo ha lo scopo di presentare in modo sistematico gli strumenti che le aziende possono utilizzare per eseguire un'analisi ergonomica delle postazioni.

Il terzo capitolo si concentra sulla progettazione delle workstation: come raccogliere le informazioni necessarie per la progettazione, le caratteristiche dei lavoratori che possono influire sulla produttività, le dimensioni che deve avere la workstation e infine come effettuare delle simulazioni efficaci per valutare se il progetto è ergonomicamente accettabile. Verranno pertanto presentate delle linee guida per una progettazione sistematica della postazione di lavoro, queste linee guida andranno poi adattate ai singoli casi per ottenere dei risultati migliori.

Il quarto capitolo è dedicato all'analisi di due casi studio, in cui vengono utilizzati gli indici ergonomici per lo studio della riprogettazione delle postazioni di lavoro. I due casi mostreranno come vengono utilizzati gli indici per determinare la presenza di rischi per gli operatori e la loro importanza per la riprogettazione.

# 1

## STUDIO DEL LAYOUT

---

### CARATTERISTICHE STUDIO LAYOUT

---

Si definisce layout la disposizione planimetrica di macchinari e attrezzature appartenenti all'impianto tecnologico principale e agli impianti di servizio a esso correlati. Lo studio del layout è la progettazione della disposizione delle meccaniche, degli impianti, degli addetti, dei servizi e dei materiali.

Uno dei principali obiettivi dello studio del layout è di semplificare il processo produttivo, bisogna cercare di aumentare il coefficiente di utilizzo dei vari reparti o macchinari, ridurre il più possibile il work in progress per non creare congestioni di materiali, bilanciare le linee produttive, garantire flessibilità ed elasticità.

Altri obiettivi sono la riduzione dei costi di trasporto interno dei materiali, la riduzione al minimo delle scorte di produzione, essendo queste un costo, l'utilizzo dello spazio disponibile nel modo più efficace, sia in termini superficiali sia in termini di altezza, infine l'utilizzo efficace della manodopera e il miglioramento della comunicazione.

---

### LIVELLI DELLO STUDIO DEL LAYOUT

---

Lo studio del layout può essere fatto su diversi livelli di aggregazione.

Al primo livello c'è lo studio dell'ubicazione, che ha lo scopo di cercare di capire dove collocare l'impianto e rappresenta un livello di dettaglio molto aggregato.

Una volta deciso dove ubicare l'impianto, si può passare al site planning, ossia l'organizzazione dei vari uffici, stabilimenti e zone produttive all'interno del sito scelto.

Al terzo livello si studia il layout dei singoli edifici, ossia ci si concentra su un unico stabilimento produttivo, e si decidono l'ubicazione e l'area da dedicare di macchinari, celle, reparti, risorse e anche servizi al suo interno.

Successivamente ci si può concentrare su ciascun'area produttiva o servizio in modo più dettagliato, facendo quindi riferimento al micro layout; in questo livello si decide dove andare a posizionare i buffer, l'area dei componenti o degli utensili che serviranno all'operatore, all'interno del reparto.

Infine si può studiare un livello di dettaglio ancora più approfondito attraverso il workstation design, ci si concentra sulla postazione dell'operatore da un punto di vista sia ergonomico sia di efficienza.

---

## QUANDO UTILIZZARE LO STUDIO DEL LAYOUT

---

Lo studio del layout può essere necessario in caso di:

- Riprogettazione parziale o totale del prodotto;
- Introduzione di un nuovo prodotto;
- Sensibili variazioni della domanda;
- Obsolescenza delle attrezzature esistenti;
- Atmosfera di lavoro insoddisfacente;
- Necessità di ridurre i costi (soprattutto i costi di trasporto);
- Ampliamento impianto esistente;
- Creazione nuovo impianto.

---

## LE FASI DEL LAYOUT

---

Quando si studia il layout bisogna seguire una serie di macro fasi:

1. Disposizione delle macchine: in base al tipo di produzione, in linea, per reparti, in celle, ecc., posso disporre i macchinari in modi diversi.
2. Analisi del flusso dei materiali: bisogna sapere qual è la quantità di merce che transitano da una zona all'altra.
3. Studio delle attività di servizio: in un'azienda non è solo la merce ad avere un flusso ma anche le informazioni e i servizi, e vano quantificati.



4. Determinazione del diagramma di flusso e/o rapporto tra le attività: questo diagramma è necessario per determinare lo spazio richiesto e il diagramma dei rapporti tra gli spazi.
5. Determinazione dello spazio richiesto
6. Determinazione del diagramma dei rapporti tra gli spazi
7. Stesura di un primo layout: non è detto che il primo layout che si va a creare sia quello definitivo, può, infatti, essere soggetto a eventuali accorgimenti e modifiche.
8. Riordinamento del diagramma dei rapporti tra gli spazi e del primo layout.

---

## ALGORITMI STUDIO LAYOUT

---

Gli algoritmi per lo studio del layout consentono di avere varie scelte che possono essere confrontate, inoltre sono molto più veloci perché consentono di valutare e di andare a rispettare determinati obiettivi in modo automatico.

Gli algoritmi si dividono in due famiglie: costruttivi e migliorativi. Gli algoritmi costruttivi creano il layout ex-novo, si basano sulla successiva selezione e posizionamento delle attività o reparti; si utilizzano principalmente quando ci sono delle attività di servizio e collaterali importanti oppure quando il flusso di materiali è molto difficile da ricavare, due esempi di questo tipo di algoritmi sono CORELAP e ALDEP.

Gli algoritmi migliorativi partono da un layout iniziale completo e si basano sullo scambio delle attività o reparti per migliorare il risultato. Un esempio è l'algoritmo CRAFT che minimizza il costo legato al flusso scambiato tra le parti.

## TIPOLOGIE DI PRODUZIONE

---

Nello studio del layout è importante conoscere il tipo di produzione dell'azienda non solo per la disposizione dei macchinari, ma anche per conoscere il livello di automazione e la presenza o meno di operatori.

Esistono quattro grandi tipologie di produzione che si distinguono tra loro in base alla gamma di prodotti e ai volumi produttivi, come è rappresentato nella Figura 1.1.

La produzione in linea utilizza un layout per prodotto, è caratterizzata da una bassa varietà di prodotti ed elevati volumi annuali. La produzione in reparti si serve di un layout per processo ed è caratterizzata da elevata varietà di prodotto e bassi volumi annuali. La produzione in celle utilizza un layout misto essendo a mezza via tra la produzione in linea e quella in reparti. Infine la produzione su commessa è caratterizzata da un layout a postazione fissa e un volume produttivo unitario.

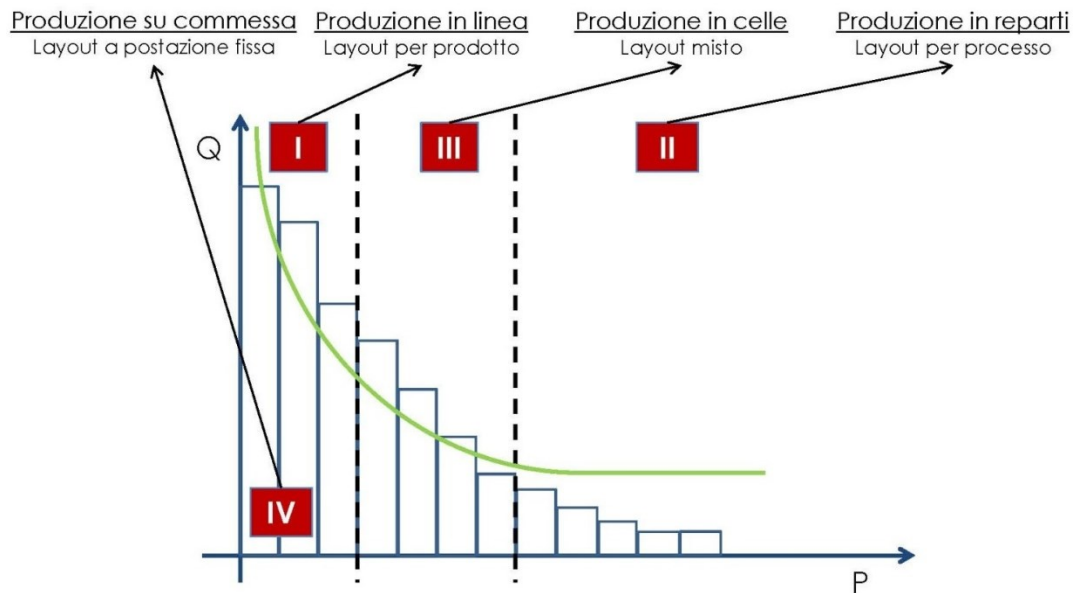


Figura 1.1 – Diagramma P-Q

La produzione in linea presenta un livello di automazione elevato, mentre la presenza di operatori è ridotta e generalmente con mansioni di supporto/supervisione; la produzione a postazione fissa è molto particolare e varia da prodotto a prodotto. Le zone in cui la presenza dell'operatore è più importante sono, quindi, la zona II e la zona III; nella produzione in celle e in quella in reparti il benessere dell'operatore, e quindi l'ergonomia delle postazioni di lavoro, costituisce un fattore che può influenzare la produttività e la qualità del lavoro.

---

#### ZONA I: PRODUZIONE IN LINEA

---

Nella produzione in linea le macchine sono disposte in sequenza in base al ciclo produttivo. Il percorso non è necessariamente una linea, i percorsi possono sormontarsi o intersecarsi per sfruttare al meglio lo spazio disponibile (esempio Figura 1.2). Questo tipo di layout è tipico della produzione continua, perché c'è un flusso di materiale che entra nell'impianto, attraversa tutti gli step produttivi fino a diventare PF.

**N°MACCHINE**

- 1 can semiaut. depalletizer
- 2 can rinsers
- 3 can filler
- 4 can scanner
- 5 can warmer
- 6 can coder
- 7 wrapping line

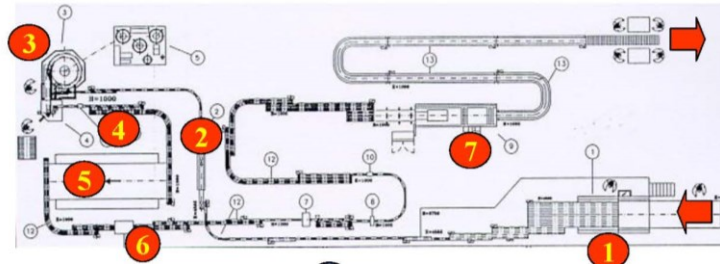


Figura 1.2 – Esempio di produzione in linea

La produzione in linea è caratterizzata da un layout trasparente proprio perché rispetta il ciclo produttivo/tecnologico. I percorsi dei materiali sono lineari e unidirezionali, questo significa che i materiali possono scorrere in una sola direzione, non possono quindi tornare indietro. Questo sistema permette di avere ridotte movimentazioni aggiuntive e di poter utilizzare sistemi di trasporto a elevata automazione e di tipo rigido, ossia collegano due punti sempre nello stesso modo e sempre nella stessa direzione (ad esempio nastri trasportatori e rulliere).

La manodopera impiegata nella zona I è generica, compie poche mansioni e prevalentemente di supporto o supervisione. I macchinari, invece, sono altamente specializzati e specifici per il prodotto finito che si deve realizzare.

Il layout è estremamente compatto, permettendo di sfruttare al meglio lo spazio a disposizione.

Il WIP (Work in process, materiale in corso di lavorazione) è sempre ridotto al minimo, in modo tale da non avere tempi morti in cui il materiale deve aspettare che la macchina si liberi.

Il coefficiente di utilizzo è estremamente alto, in genere è compreso tra i valori 80 e 90%; questo è dovuto al fatto che i macchinari, lavorando sempre lo stesso prodotto, hanno dei bassi tempi di set up, ossia dei tempi in cui vado a riattrezzare o ricalibrare la macchina; pertanto le macchine restano ferme per poco tempo, quindi il tempo di effettivo utilizzo è elevato. Come si può capire dall'equazione (1), la quale fa riferimento al calcolo del coefficiente di utilizzo ( $u$ ), un tempo di effettivo utilizzo elevato porta ad avere un coefficiente elevato.

$$u = \frac{t \text{ di effettivo utilizzo macchinario}}{t \text{ di disponibilità macchinario}} \quad (1)$$

---

## ZONA II: PRODUZIONE IN REPARTI

---

La produzione in reparti è adatta nel caso di aziende che producono una grande varietà di prodotti con bassi volumi produttivi, ed è tipica della produzione intermittente a lotti.

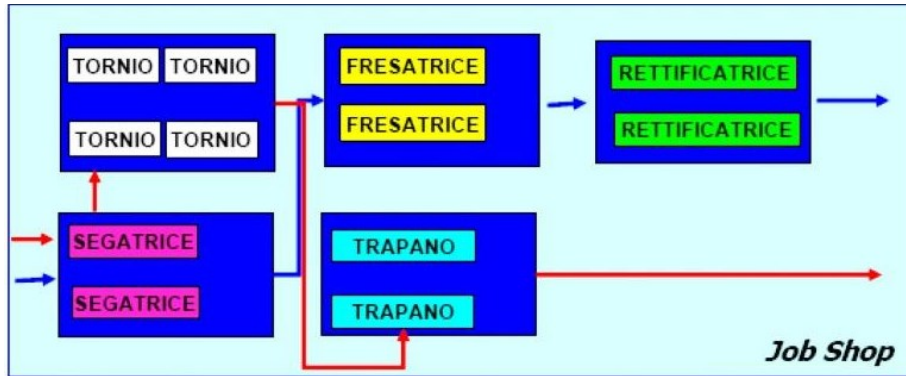


Figura 1.3– Esempio produzione in reparti

Un'alta varietà di prodotti spesso implica anche una varietà di processi tecnologici, pertanto le macchine sono raggruppate in aree per omogeneità di lavorazione, per tipologia di processo; per questo motivo questo tipo di layout è detto per processo.

Il layout non è trasparente, ossia dal layout non è possibile vedere qual è il ciclo tecnologico seguito dai vari prodotti; il layout raggruppa le macchine in base alla loro funzione.

I percorsi dei materiali in lavorazione non sono lineari e monodirezionali, ogni prodotto ha il suo percorso e può passare da un reparto all'altro senza obblighi di direzione, quindi sostanzialmente ci sono dei percorsi incrociati dei materiali.

Giacché i percorsi sono incrociati e non è detto che i reparti siano tutti vicini tra loro, ci sono delle movimentazioni elevate, garantite da trasporti flessibili e prevalentemente manuali come ad esempio trans pallet e muletti. Esistono anche esempi di trasporto automatico come i carrelli AGV (Automated Guided Vehicle, Veicolo a Guida Automatica) o LGV (Laser Guided Vehicle, Veicolo a Guida Laser) che non necessitano la presenza dell'operatore, ma devono essere programmati per andare nei vari reparti, si tratta pertanto di veicoli costosi e non sempre convenienti.

I macchinari sono generici, a differenza della produzione in linea, dove sono altamente specializzati; questo permette di poter lavorare molti prodotti differenti anche in modo diverso.

La manodopera deve essere specializzata, per ogni fase del processo è necessario un operatore dedicato che sappia usare quel macchinario, è l'operatore a guidare la macchina nella produzione del pezzo. La specializzazione elevata ha lo svantaggio che riduce l'intercambiabilità degli operatori, difficilmente un operatore viene spostato da un reparto a un altro.

Gli spazi richiesti sono elevati e poco sfruttati a causa dei corridoi necessari alla movimentazione e dei magazzini intermedi, molto più grandi rispetto a quelli della produzione in linea.

Il WIP (Work in process, materiale in corso di lavorazione) è elevato, a causa dell'alta varietà di prodotti tra una fase e l'altra ci possono essere dei tempi morti in attesa che si liberi la macchina.

Il coefficiente di utilizzo dei macchinari è intorno al 40%, molto più basso rispetto alla produzione in linea. Questo perché le macchine sono sempre disponibili al lavoro, però dovendo cambiare da un prodotto all'altro spesso sono richiesti dei tempi di set up molto lunghi, anche di diverse ore. Il macchinario pertanto è funzionante, ma non produce perché deve essere adattato al prodotto successivo e questo abbassa il coefficiente di utilizzo di quel macchinario.

Per cercare di aumentare il coefficiente di utilizzo si cerca di produrre in lotti, in modo da ridurre l'incidenza del costo di set up; la grandezza del lotto ottimale deve essere tale da ridurre i costi di set up ma anche garantire un mix di prodotti a magazzino ottimale.

---

### ZONA III: PRODUZIONE IN CELLE

---

Nella produzione in celle o di tipo misto coesistono reparti e linee attraverso la creazione di celle flessibili di produzione che sono in grado di produrre famiglie di prodotti. Partendo dalla zona II si è riusciti a ridurre la varietà di prodotti finiti senza standardizzarli troppo, quindi senza arrivare alla convenienza di avere un impianto dedicato (zona I), l'impianto è dedicato a una famiglia di prodotti. L'obiettivo della produzione in celle è cercare di mantenere i benefici della produzione in linea e quelli

della produzione in reparti, è una zona che ha un'elevata produttività mantenendo la flessibilità, e quindi una varietà di prodotti piuttosto elevata, della zona II.

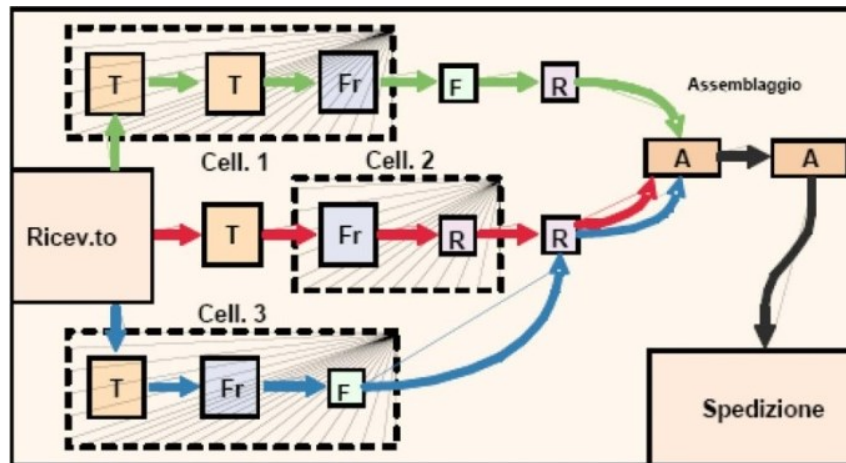


Figura 1.4 – Esempio di produzione in celle

La produzione in celle utilizza la tecnica della Group Technology, una filosofia produttiva volta a individuare famiglie di prodotti simili all'interno del mix produttivo aziendale, al fine di contemperare i vantaggi della zona I (elevata produttività) con quelli della zona II (elevata flessibilità).

Si cercano delle similarità tra i prodotti considerando attributi di progetto (forma caratteristica, dimensioni etc.) o attributi di fabbricazione (ciclo di produzione, attrezzature necessarie etc.).

Generalmente la Group Technology prevede l'attuazione di tre attività, che possono essere svolte in sequenza o anche singolarmente.

1. Razionalizzazione del progetto: si considerano tutti i prodotti finiti e si cercano delle similitudini a livello di progetto, se possibile si modificano alcuni prodotti cercando di standardizzarli.
2. Razionalizzazione del ciclo tecnologico: ci si concentra sui processi produttivi, cercando di elaborare un ciclo produttivo standard per ogni famiglia di prodotti; i prodotti finiti vengono raggruppati in famiglie che hanno un ciclo simile.
3. Razionalizzazione del processo e del layout: si vanno a inserire le caratteristiche del prodotto all'interno del processo produttivo, si valuta la posizione dei processi e del layout in base alle famiglie definite.

In questo modo si ottiene la cella flessibile di produzione, che può essere di due tipi: un'unica cella in grado di produrre l'intera famiglia, oppure più celle in sequenza per produrre l'intera famiglia.

Il livello di automazione è programmabile e flessibile. Si possono avere celle con operatori umani e movimentazioni poco automatizzate (zona II), o celle con robot antropomorfi e navicelle per il trasporto (zona I). Le celle altamente automatizzate sono chiamate FMS (Flexible Manufacturing System).

---

#### ZONA IV: PRODUZIONE SU COMMESSA

---

La zona IV è caratterizzata da un volume produttivo unitario, è quindi caratterizzata dalla produzione su commessa. Questo tipo di produzione è utilizzato nel caso di prodotti di grandi dimensioni, come nave ed aerei, e il tipo di layout è a postazione fissa, cioè macchinari, attrezzature e operatori si muovono attorno al prodotto, che rimane fisso.

Questo genere di produzione presenta una grande flessibilità in termini di caratteristiche del prodotto finito e richiede un investimento minimo del capitale nel layout.

Una peculiarità della produzione su commessa è la possibilità di perfezionare la capacità degli operatori attraverso due sistemi. Il primo è il job enlargement, che prevede un aumento delle mansioni periodicamente affidate agli operatori, i nuovi compiti prevedono un'estensione in senso orizzontale della flessibilità dell'operatore, perché non comportano assunzioni di poteri e funzioni diverse da quelli tradizionali. Il secondo sistema è il job enrichment che prevede un'assunzione da parte del lavoratore di nuovi compiti che prevedono un livello di responsabilità superiore rispetto a quelli precedentemente svolti, pertanto si tratta di un'estensione in senso verticale del lavoratore.





# 2

## ERGONOMIA

---

L'International Ergonomics Association (IEA) definisce l'ergonomia fisica come la disciplina scientifica che si occupa delle caratteristiche anatomiche, antropometriche, fisiologiche e biomeccaniche umane in relazione all'attività fisica.

La prima società nazionale di ergonomia nacque in Inghilterra nel 1949, per opera dello psicologo K.F.H. Murrell, il quale utilizzò per la prima volta il termine “Ergonomia”; lo scopo della società era riunire i progettisti insieme per discutere e prevenire le problematiche progettuali, mettendo l'uomo e le sue esigenze operative al centro della ricerca.

In Italia nel 1961, a Milano, venne fondata la S.I.E. (Società italiana di ergonomia).

Lo studio dell'ergonomia è importante per diverse ragioni. Aumenta la sicurezza dei lavoratori, progettando postazioni di lavoro, strumenti e macchinari che siano ergonomicamente sicuri, i lavoratori hanno meno probabilità di soffrire di disturbi muscoloscheletrici (MSDS) o lesioni da sforzo ripetitivo (RSI) che possono derivare da posture scomode o forza eccessiva. Aumenta la produttività: l'ergonomia può aiutare i lavoratori a svolgere le attività in modo più efficiente ed efficace, riducendo la probabilità di affaticamento o errori. Ciò può portare a una maggiore produttività e a costi inferiori per i datori di lavoro. Riduce dell'assenteismo dovuto a infortuni, MSD e RSI possono, infatti, far perdere giorni di lavoro ai lavoratori, con conseguente perdita di produttività e aumento dei costi. L'ergonomia può aiutare a ridurre il rischio di queste lesioni, portando a un minor numero di giornate lavorative perse. L'ergonomia può inoltre aiutare i lavoratori a svolgere le attività in modo più accurato e coerente, portando a una migliore qualità del prodotto e meno difetti. Molti paesi hanno normative concernenti l'ergonomia sul posto di lavoro; studiando l'ergonomia e

implementando le migliori pratiche, i datori di lavoro possono garantire il rispetto di queste normative ed evitare sanzioni.

## NORMATIVE

---

Per tutelare i lavoratori è stato redatto il D.Lgs. n. 81/08 Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro (TUSL), in particolare al Titolo VI (artt. da 167 a 171) viene trattata la movimentazione manuale dei carichi. L'articolo 167 del TUSL sancisce il campo di applicazione fornendo la definizione di movimentazione manuale dei carichi e di patologie da sovraccarico biomeccanico. L'articolo 168 del TUSL presenta, invece, gli obblighi del datore di lavoro e attraverso l'allegato XXXIII vengono forniti gli elementi di riferimento per l'analisi del rischio (ad esempio caratteristiche del carico, sforzo fisico richiesto, caratteristiche dell'ambiente di lavoro ed esigenze connesse all'attività), i fattori individuali di rischio (idoneità fisica, indumenti, formazione insufficiente) e i riferimenti a norme tecniche (norma ISO 11228 parte 1,2,3).

Per effettuare l'analisi ergonomica di una postazione di lavoro bisogna rifarsi alla normativa ISO 11228, la quale fornisce i metodi di valutazione del rischio da movimentazione manuale dei carichi. Tale normativa è suddivisa in tre parti:

- ISO 11228 – 1: Sollevamento e trasporto manuale dei carichi;
- ISO 11228 – 2: Traino e spinta manuale dei carichi;
- ISO 11228 – 3: Compiti ripetitivi di movimentazione di piccoli carichi ad alta frequenza.

La ISO 11228 – 1 definisce i limiti raccomandati per la movimentazione manuale degli oggetti in relazione all'intensità, alla frequenza, e alla durata del compito, tramite l'utilizzo dell'equazione RNLE (Revised NIOSH Lifting Equation), consentendo in tal modo di valutare i rischi per la salute dell'operatore. Questa normativa si applica nel caso di movimentazione manuale di oggetti con una massa di almeno 3 kg e di velocità di cammino moderata (da 0,5 a 1 m/s).

La ISO 11228 – 2 permette di valutare i rischi per le operazioni di traino e spinta di un oggetto, utilizzando due metodi di analisi: uno più generico, l'altro più specialistico. Il metodo più generico si basa sull'utilizzo delle "tabelle psicofisiche" di S. Snook e V. Ciriello e permette di classificare il compito di spinta o Traino di un carico come

“accettabile” o “inaccettabile”. Il secondo metodo è più complesso e si utilizza nel caso in cui il primo rilevi una situazione “inaccettabile”, esso consente di calcolare il limite di sicurezza sulla base dei dati antropometrici degli operatori.

La ISO 11228 – 3 consente di valutare i rischi per la salute dei lavoratori legati ad attività che comportano movimenti ripetitivi. Il rischio viene valutato seguendo due metodi distinti; inizialmente si esegue una procedura di screening, tramite l'utilizzo di una check list specifica, successivamente si procede con la valutazione del rischio tramite l'utilizzo di metodi di analisi riconosciuti a livello internazionale (metodo OWAS, RULA, REBA, STRAIN INDEX e OCRA).

La ISO 11228 è stata redatta con lo scopo di tutelare i lavoratori in termini di sicurezza per le attività di movimentazione manuale dei carichi sancendo posture e situazioni potenzialmente dannose.

## INDICI

---

Lo studio dell'ergonomia sulla postazione di lavoro ha come obiettivo migliorare le prestazioni lavorative e tutelare il benessere dell'operatore. Per garantire la sicurezza e la salute dei lavoratori sono stati sviluppati degli indici che calcolano il rischio o lo sforzo a cui sono sottoposte le varie parti del corpo.

Indice per la valutazione dello sforzo percepito:

Scala Borg: metodo semplice per misurare il livello di intensità di attività fisica.

Indici per il monitoraggio veloce della postura:

OWAS: suddivide i disordini legati al lavoro in quattro porzioni del corpo, verificando la frequenza e il tempo necessario per ogni postura.

RULA: valuta velocemente la postura della parte superiore del corpo.

REBA: valuta in modo veloce l'intero corpo considerando anche i cambiamenti veloci di postura.

Indici per la valutazione dei movimenti ripetitivi:

STRAIN INDEX: valuta i movimenti ripetitivi della parte superiore del corpo.

OCRA: check list semplificata e un indice sintetico che descrive i fattori di rischio dei movimenti ripetitivi.

Indici per la valutazione dei sollevamenti manuali:

NIOSH: equazione di sollevamento che definisce il RWL (limite di peso raccomandato).

SNOOK and CIRIELLO: tavola di valutazione dei pesi e delle forze massimi accettabili nelle attività di movimentazione manuale in piano.

## SCALA BORG

---

Il Dr Gunnar Borg intorno agli anni '50 ideò due scale per valutare lo sforzo percepito: la Borg RPE (Tabella 2.1) e la Borg CR10 (Tabella 2.2). Queste due scale sono in grado di tradurre in dati, e quindi di quantificare, lo sforzo percepito dagli operatori.

I dati ottenuti dalle scale Borg riflettono sensazioni specifiche ed esperienze personali in determinate situazioni, risulta pertanto necessario standardizzare il contesto in cui viene eseguito il test. Bisogna eseguire una buona preparazione al test sia dell'esaminato sia dell'esaminatore; il conduttore del test deve leggere le istruzioni assieme al soggetto e mostrare la scala, il soggetto deve avere il tempo di poter familiarizzare con la scala in modo da poter utilizzare le espressioni e i numeri adeguati. Ai fini della valutazione è importante che il soggetto capisca che ciò che deve essere quantificato è la sua percezione come fenomeno soggettivo, pertanto deve cercare di essere spontaneo e mantenere un atteggiamento introspettivo piuttosto che concentrarsi sullo stimolo.

Le espressioni verbali utilizzate nella scala, ossia le "ancore", utilizzano un linguaggio ordinario di tutti i giorni, in modo tale che per la maggior parte dei soggetti le "ancore" abbiano un significato naturale, che è costruito all'interno della scala.

La scala RPE (Ratings of Perceived Exertion) valuta la fatica percepita durante un lavoro fisico basandosi sulla correlazione tra aumento del carico e aumento della frequenza cardiaca; la scala assume i valori da 6 a 20: 6 corrisponde a una frequenza cardiaca di 60 battiti/min, ossia una situazione di riposo, 20 corrisponde a una frequenza cardiaca di 200 battiti/min, in altre parole una condizione di massimo sforzo. Durante il test il soggetto deve concentrarsi non tanto sulla difficoltà fisica, quanto sulle sensazioni

interne di sforzo, tensione e fatica, pertanto deve concentrarsi sulle sensazioni soggettive.

| <b>Scala Borg RPE</b> |                      |
|-----------------------|----------------------|
| 6                     | nessuno sforzo       |
| 7                     | estremamente leggero |
| 8                     |                      |
| 9                     | molto leggero        |
| 10                    |                      |
| 11                    | leggero              |
| 12                    |                      |
| 13                    | un po' pesante       |
| 14                    |                      |
| 15                    | pesante              |
| 16                    |                      |
| 17                    | molto pesante        |
| 18                    |                      |
| 19                    | estremamente pesante |
| 20                    | massimo sforzo       |

Tabella 2.1- Scala Borg RPE tratta da DI BORG, U. D. S. LE SCALE DI VALUTAZIONE DI BORG

La scala CR10 (Category-Ratio anchored at the number 10) valuta lo sforzo fisico e il dolore, rispetto alla RPE questa scala ha una struttura più complessa, è, infatti, più semplice valutare la percezione dello sforzo in confronto al dolore poiché esso è collegato a diversi fattori in particolar modo alle esperienze passate. La scala assume i valori da 0 a 10 e può utilizzare anche valori non unitari: 0 corrisponde a nessun dolore, 10 corrisponde al dolore massimo mai provato, viene anche inserito il valore “∞” (o 11 o 12) per indicare un dolore maggiore di cui il soggetto non ha mai fatto esperienza personalmente, a questo valore corrisponde il dolore massimo assoluto.

| <b>Scala Borg CR10</b> |   |
|------------------------|---|
| 0                      | assolutamente niente "no P"             |
| 0,3                    |   |
| 0,5                    | estremamente debole appena percettibile |
| 1                      | molto debole                            |
| 1,5                    |   |
| 2                      | debole leggero                          |
| 2,5                    |   |
| 3                      | moderato                                |
| 4                      |   |
| 5                      | forte pesante                           |
| 6                      |   |
| 7                      | molto forte                             |
| 8                      |   |
| 9                      |   |
| 10                     | estremamente forte "max P"              |
| 11                     |   |
| °                      | massimo assoluto. Il più alto possibile |

Tabella 2.2 – Scala Borg CR10 tratta da DI BORG, U. D. S. LE SCALE DI VALUTAZIONE DI BORG

Le due scale possono essere messe a confronto (Tabella 2.3), associando a ogni valore della scala RPE un valore della scala CR10, in questo modo possono essere messi a confronto la fatica percepita con lo sforzo e il dolore percepiti dal soggetto. Tuttavia generalmente si tende a scegliere di utilizzare una delle due scale in base alla sensazione che si vuole valutare.

|                   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| <b>SCALA RPE</b>  | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19   | 20   |
| <b>SCALA CR10</b> | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 3.0 | 3.5 | 4.5 | 5.5 | 6.5 | 7.5 | 9.0 | 10.0 | 12.0 |

Tabella 2.3 – Confronto scala RPE e CR10 tratta da DI BORG, U. D. S. LE SCALE DI VALUTAZIONE DI BORG

## METODO OWAS

---

Il metodo OWAS (Ovako Working posture Analysing System) è stato sviluppato nell'industria metallurgica finlandese negli anni '70, questo metodo permette il monitoraggio delle posture di lavoro. È stato verificato che un'errata postura, in particolar modo della schiena, può causare danni all'apparato muscolo-scheletrico, se protratta nel tempo. Questo metodo è in grado di schematizzare le possibili posizioni assunte dagli operatori in varie configurazioni, basate sulla posizione di schiena, braccia, gambe e carico sollevato.

Il calcolo dell'indice OWAS è composto da tre fasi: calcolo del codice della postura, determinazione della categoria di rischio, calcolo dell'indice in base al tempo. Alla fine si ottiene un indice che riassume il livello di rischio che una determinata posizione può comportare per la salute dell'operatore.

---

### FASE 1: CODICE DELLA POSTURA

---

Ciascuna postura viene trasformata in un codice a quattro cifre (XYZW), ogni cifra indica il livello di rischio di lesioni e/o patologie dell'apparato muscolo-scheletrico, le quattro cifre fanno riferimento a: schiena, braccia, gambe ed entità del carico sollevato. Nella Tabella 2.4 sono riportati i codici per ciascuna postura.

| Cifra | Parte del corpo  | Codice OWAS | Descrizione posizione                                     |
|-------|------------------|-------------|---|
| X     | Schiena          | 1           | Schiena dritta  |
|       |                  | 2           | Schiena piegata   |
|       |                  | 3           | Torsione schiena  |
|       |                  | 4           | Schiena piegata e torsione                                |
| Y     | Braccia          | 1           | Entrambe le braccia sotto il livello delle spalle         |
|       |                  | 2           | Un braccio al/sopra il livello delle spalle               |
|       |                  | 3           | Entrambe le braccia sopra il livello delle spalle         |
| Z     | Gambe            | 1           | Seduto  |
|       |                  | 2           | In piedi su entrambe le gambe stese                       |
|       |                  | 3           | In piedi su una gamba stesa                               |
|       |                  | 4           | In piedi o piegato su entrambi i piedi, ginocchia piegate |
|       |                  | 5           | In piedi o piegato su un piede, ginocchia piegate         |
|       |                  | 6           | Inginocchiato su uno o entrambe le ginocchia              |
|       |                  | 7           | Camminando o in movimento                                 |
| W     | Carico sollevato | 1           | Carico < 10 kg  |
|       |                  | 2           | 10 < Carico < 20 kg                                       |
|       |                  | 3           | Carico > 20 kg  |

Tabella 2.4 - Codice postura tratto da EDILIZIA, V. D. C. P. I., SU, E. A. D. M. O., & DI, U. G. METODO OWAS.



## FASE 2: CATEGORIA DI RISCHIO

Dopo aver ottenuto il codice della postura, si confrontano le quattro cifre con una tabella (Tabella 2.5) a entrata multipla, che permette di ottenere un unico numero, questo indica la classe di rischio relativa a ciascuna posizione.

| Schiena | Braccia | 1 |   |   | 2 |   |   | 3 |   |   | 4 |   |   | 5 |   |   | 6 |   |   | 7 |   |   | Gambe | Carico |
|---------|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------|--------|
|         |         | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |       |        |
| 1       | 1       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |       |        |
|         | 2       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |       |        |
|         | 3       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2     |        |
| 2       | 1       | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 |   |       |        |
|         | 2       | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 | 4 |       |        |
|         | 3       | 3 | 3 | 4 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 4 |       |        |
| 3       | 1       | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |       |        |
|         | 2       | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 |       |        |
|         | 3       | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 1 | 1 | 1 |       |        |
| 4       | 1       | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 4 |       |        |
|         | 2       | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 4 |       |        |
|         | 3       | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 3 | 4 |       |        |

Tabella 2.5 – Classe di rischio per ogni posizione tratta da EDILIZIA, V. D. C. P. I., SU, E. A. D. M. O., & DI, U. G. METODO OWAS.

La classe di rischio è rappresentata con un numero da 1 a 4: 1 indica la postura naturale e non richiede misure correttive, le categorie da 2 a 4 invece necessitano di correzioni per evitare danni all'apparato muscolo-scheletrico. Nella Tabella 2.6 sono riassunte le principali misure correttive per ogni classe di rischio.

| Categoria | Spiegazione   | Misure correttive                                     |
|-----------|---|---|
| 1         | Postura normale e naturale con nessun effetto dannoso sull'apparato muscolo-scheletrico           | Nessuna misura richiesta                              |
| 2         | Postura con alcuni effetti dannosi sull'apparato muscolo-scheletrico                              | In futuro saranno necessarie delle correzioni         |
| 3         | Postura con effetti dannosi sull'apparato muscolo-scheletrico                                     | Bisognerebbe fare delle correzioni il prima possibile |
| 4         | Il carico causato da questa postura ha un effetto molto dannoso sull'apparato muscolo-scheletrico | Sono necessarie delle immediate misure correttive     |

Tabella 2.6 – Classe di rischio e misure correttive

---

### FASE 3: INDICE OWAS

---

Per calcolare l'indice OWAS si prende un campione significativo di osservazioni e si determinano le classi di rischio corrispondenti a ciascuna postura assunta dai lavoratori nell'arco della giornata, in questo modo si può calcolare l'indice di rischio di ogni operazione considerando la quantità di tempo in cui è eseguita.

L'Indice di rischio OWAS viene quindi determinato con l'equazione 2.

$$\text{Indice OWAS} = [(a * 1) + (b * 2) + (c * 3) + (d * 4)] * 100 \quad (2)$$

Dove:

a = frequenza percentuale di osservazioni in classe 1 di rischio

b = frequenza percentuale di osservazioni in classe 2 di rischio

c = frequenza percentuale di osservazioni in classe 3 di rischio

d = frequenza percentuale di osservazioni in classe 4 di rischio

Si individuano quattro diversi livelli di rischio in base al valore assunto dall'indice (Tabella 2.7), questi livelli descrivono l'attività in esame e indicano quanto può essere dannosa per la salute dell'operatore.

| LIVELLO | VALORE ASSUNTO   | ENTITÀ DEL RISCHIO |
|---------|------------------|--------------------|
| 1       | 100 < OWAS < 200 | ASSENZA DI RISCHIO |
| 2       | 200 < OWAS < 300 | RISCHIO LIEVE      |
| 3       | 300 < OWAS < 400 | RISCHIO PRESENTE   |
| 4       | OWAS > 400       | RISCHIO ELEVATO    |

Tabella 2.7 – Livello di rischio indice OWAS tratto da EDILIZIA, V. D. C. P. I., SU, E. A. D. M. O., & DI, U. G. METODO OWAS.

Questo sistema permette di individuare in modo sistematico quali attività richiedono una modifica e anche in che misura deve essere eseguita questa modifica, un'attività con un livello di rischio pari a 4 necessita di un intervento immediato e deve precedere le attività con livello di rischio 3 e 2. Così facendo è possibile organizzare in modo più efficiente il sistema di correzione dei problemi legati alle attività svolte dagli operatori e ottimizzare al meglio le risorse dell'azienda, evitando sprechi in termini di tempo e denaro.

## METODO RULA

Il Metodo RULA (Rapid Upper Limb Assessment) è stato sviluppato nel 1993 da McAtamney e Corlett, è uno strumento rapido e veloce per valutare i fattori di rischio che possono causare danni alla parte superiore del corpo.

Per semplicità di analisi si divide il corpo in due parte: la parte A (Figura 2.1) comprende braccia e polsi, la parte B (Figura 2.2) comprende collo, busto e gambe. Come per il metodo OWAS, a ogni parte del corpo si associa un numero che indica la gravosità del rischio a esso associata, questo numero è funzione degli angoli formati rispetto ad assi di riferimento.

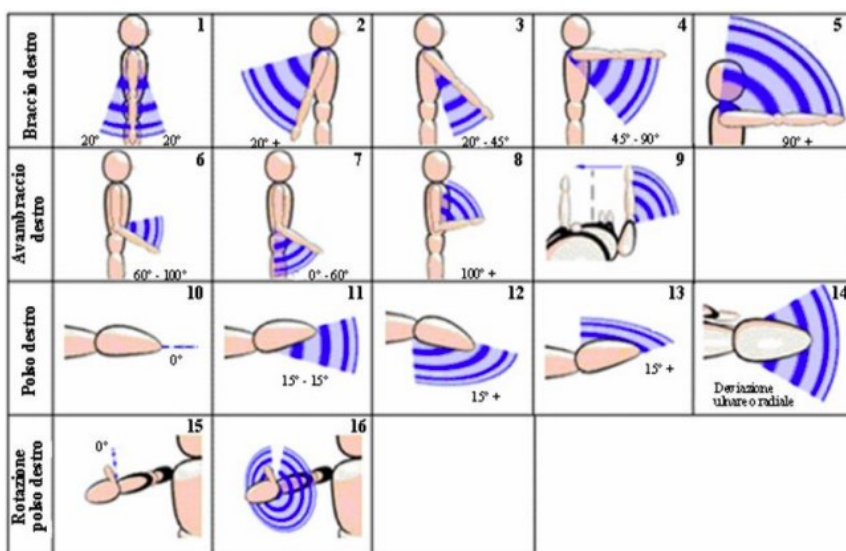


Figura 2.1 - Gruppo A: Posture del braccio, dell'avanbraccio e del polso tratto da Zenomoretti rischi movimenti ripetitivi

I punteggi, indicati tra le parentesi quadre, per il gruppo A (Figura 2.1) vanno assegnati nel seguente modo:

### *Braccio*

- [1] per 20° di estensione o 20° di flessione (riquadro 1)
- [2] per un'estensione superiore a 20° o una flessione compresa tra 20°-45° (riquadri 2 e 3)
- [3] per una flessione tra 45°-90° (riquadro 4)
- [4] per una flessione pari o superiore a 90° (riquadro 5)

Se la spalla è sollevata, il punteggio della postura appena enunciato, viene aumentato di una unità

Se il braccio è abdotto il punteggio è aumentato di una unità

Se il lavoratore è inclinato o il peso dell'arto è sorretto, il punteggio relativo alla postura va diminuito di un'unità

#### *Avambraccio*

[1] per una flessione compresa tra  $60^{\circ}$ - $100^{\circ}$  (riquadro 6)

[2] per una flessione inferiore a  $60^{\circ}$  o superiore a  $100^{\circ}$  (riquadri 7 e 8)

Se l'avambraccio sta lavorando in modo incrociato rispetto alla mezzeria del corpo o fuori lato, il punteggi relativo alla postura va incrementato di una unità (riquadro 9)

#### *Polso*

[1] se è in una posizione neutra (riquadro 10)

[2] se è in estensione o in flessione in un intervallo di  $0^{\circ}$ - $15^{\circ}$  (riquadro 11)

[3] per una flessione o estensione superiore a  $15^{\circ}$  (riquadri 12 e 13)

Se il polso è sottoposto ad una deviazione ulnare o radiale, il punteggio posturale relativo va aumentato di un'unità (riquadro 14)

#### *Rotazione del Polso*

[1] se il polso è ruotato fino alla metà della propria potenzialità (riquadro 15)

[2] se il polso è prossimo o è proprio nella posizione di massima torsione (riquadro 16)

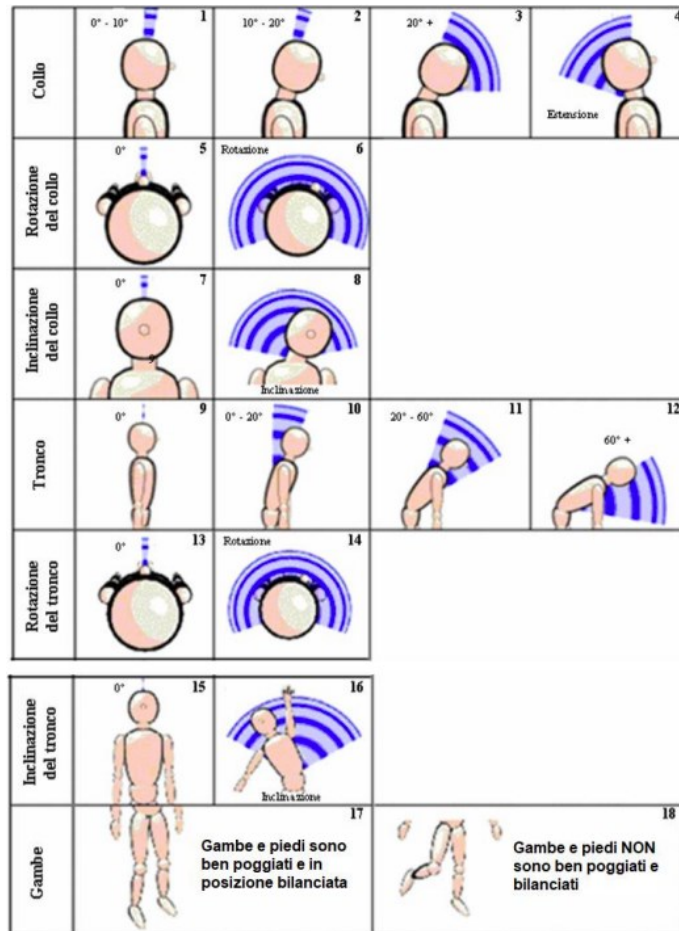


Figura 2.2 - Gruppo B: Posture del collo, del tronco e delle braccia tratto da Zenomoretta rischi movimenti ripetitivi

I punteggi per il gruppo B (Figura 2.2) vanno assegnati nel seguente modo:

### *Collo*

- [1] per una flessione tra 0°-10° ( riquadro 1)
- [2] per una flessione tra 10°-20° ( riquadro 2)
- [3] per una flessione maggiore di 20° ( riquadro 3)
- [4] se il collo è in estensione ( riquadro 4)

Se il collo è ruotato o inclinato da un lato il punteggio è incrementato di un'unità ( riquadri 6 e 8)

### *Tronco*

- [1] quando si è seduti con un angolo anca-tronco di 90° o più ( riquadro 9)
- [2] per una flessione tra 0°-20° ( riquadro 10)
- [3] per una flessione tra 20°-60° ( riquadro 11)

[4] per una flessione maggiore di 60° (riquadro 12)

Se il tronco è ruotato o inclinato da un lato, il punteggio viene aumentato di una unità (riquadri 14 e 16)

### *Gambe*

[1] se le gambe ed i piedi sono bene appoggiati, seduti e/o col corpo ben bilanciato (riquadro 17)

[1] se in piedi, col peso del corpo ben distribuito su entrambi i piedi con spazio per cambiare posizione (riquadro 17)

[2] se le gambe ed i piedi non sono ben appoggiati o il peso del corpo non è bilanciato bene (riquadro 18)

Una volta noti i valori di rischio associati ad ogni posizione, è possibile assegnare un punteggio complessivo alla parte A (Tabella 2.8) e uno alla parte B (Tabella 2.9).

| Tabella A |             | Punteggio del polso |   |             |   |             |   |             |   |
|-----------|-------------|---------------------|---|-------------|---|-------------|---|-------------|---|
|           |             | 1                   |   | 2           |   | 3           |   | 4           |   |
|           |             | Rotaz polso         |   | Rotaz polso |   | Rotaz polso |   | Rotaz polso |   |
| Braccio   | Avambraccio | 1                   | 2 | 1           | 2 | 1           | 2 | 1           | 2 |
| 1         | 1           | 1                   | 2 | 2           | 2 | 2           | 3 | 3           | 3 |
|           | 2           | 2                   | 2 | 2           | 2 | 3           | 3 | 3           | 3 |
|           | 3           | 2                   | 3 | 3           | 3 | 3           | 3 | 4           | 4 |
| 2         | 1           | 2                   | 3 | 3           | 3 | 3           | 4 | 4           | 4 |
|           | 2           | 3                   | 3 | 3           | 3 | 3           | 4 | 4           | 4 |
|           | 3           | 3                   | 4 | 4           | 4 | 4           | 4 | 5           | 5 |
| 3         | 1           | 3                   | 3 | 3           | 4 | 4           | 4 | 5           | 5 |
|           | 2           | 3                   | 4 | 4           | 4 | 4           | 4 | 5           | 5 |
|           | 3           | 4                   | 4 | 4           | 4 | 4           | 5 | 5           | 5 |
| 4         | 1           | 4                   | 4 | 4           | 4 | 4           | 5 | 5           | 5 |
|           | 2           | 4                   | 4 | 4           | 4 | 4           | 5 | 5           | 5 |
|           | 3           | 4                   | 4 | 4           | 5 | 5           | 5 | 6           | 6 |
| 5         | 1           | 5                   | 5 | 5           | 5 | 5           | 6 | 6           | 7 |
|           | 2           | 5                   | 6 | 6           | 6 | 6           | 6 | 7           | 7 |
|           | 3           | 6                   | 6 | 6           | 7 | 7           | 7 | 7           | 8 |
| 6         | 1           | 7                   | 7 | 7           | 7 | 7           | 8 | 8           | 9 |
|           | 2           | 8                   | 8 | 8           | 8 | 8           | 9 | 9           | 9 |
|           | 3           | 9                   | 9 | 9           | 9 | 9           | 9 | 9           | 9 |

Tabella 2.8 – Punteggio complessivo parte A tratto da Zenomoretta rischi movimenti ripetitivi

| Tabella<br>B | Punteggio postura del busto |   |       |   |       |   |       |   |       |   |       |   |
|--------------|-----------------------------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|
|              | 1                           |   | 2     |   | 3     |   | 4     |   | 5     |   | 6     |   |
|              | Gambe                       |   | Gambe |   | Gambe |   | Gambe |   | Gambe |   | Gambe |   |
| Collo        | 1                           | 2 | 1     | 2 | 1     | 2 | 1     | 2 | 1     | 2 | 1     | 2 |
| 1            | 1                           | 3 | 2     | 3 | 3     | 4 | 5     | 5 | 6     | 6 | 7     | 7 |
| 2            | 2                           | 3 | 2     | 3 | 4     | 5 | 5     | 5 | 6     | 7 | 7     | 7 |
| 3            | 3                           | 3 | 3     | 4 | 4     | 5 | 5     | 6 | 6     | 7 | 7     | 7 |
| 4            | 5                           | 5 | 5     | 6 | 6     | 7 | 7     | 7 | 7     | 7 | 8     | 8 |
| 5            | 7                           | 7 | 7     | 7 | 7     | 8 | 8     | 8 | 8     | 8 | 8     | 8 |
| 6            | 8                           | 8 | 8     | 8 | 8     | 8 | 8     | 9 | 9     | 9 | 9     | 9 |

Tabella 2.9 - Punteggio complessivo parte B tratto da Zenomoretti rischi movimenti ripetitivi

Successivamente, i punteggi dalle parte A e B vengono rivalutati prendendo in considerazione il tipo di attività muscolare sviluppata e la forza sviluppata. Inserendo i punteggi in un'unica tabella (Tabella 2.10) e combinandoli tra loro si determina il livello di rischio globale, che assume valori da 1 a 7, dove i valori alti indicano un rischio maggiore di insorgenza di disturbi muscolo scheletrici.

| AB | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1  | 1 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 2  | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 3  | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 5 | 6 | 6 | 6 |
| 4  | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 5  | 4 | 4 | 4 | 5 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 6  | 4 | 4 | 5 | 6 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 7  | 5 | 5 | 6 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 8  | 5 | 5 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 9  | 5 | 5 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |

Tabella 2.10 – Punteggio finale tratto da Zenomoretti rischi movimenti ripetitivi

Dai valori di rischio è possibile individuare 4 livelli di azione (Tabella 2.11).

| LIVELLO | VALORE ASSUNTO | ENTITÀ DEL RISCHIO |
|---------|----------------|--------------------|
| 1       | RULA = 1 - 2   | ASSENZA DI RISCHIO |
| 2       | RULA = 3 - 4   | RISCHIO LIEVE      |
| 3       | RULA = 5 - 6   | RISCHIO PRESENTE   |
| 4       | RULA = 7       | RISCHIO ELEVATO    |

Tabella 2.11 – Livello di rischio indice rula tratto da Zenomoretti rischi movimenti ripetitivi

Livello 1: la postura è accettabile se non è mantenuta o ripetuta per lunghi periodi.

Livello 2: sono necessarie ulteriori osservazioni e sono richieste delle modifiche.

Livello 3: sono necessarie indagini e modifiche in tempi brevi.

Livello 4: sono necessarie indagini e modifiche immediate.

## METODO REBA

---

McAtamney e Corlett nel 1993 hanno sviluppato anche il metodo REBA (Rapid Entire Body Assessment), per valutare i fattori di rischio che possono generare traumi nel corpo intero. Questo metodo si basa sullo stesso approccio utilizzato dal metodo RULA, con la differenza che il metodo REBA considera anche l'analisi degli arti inferiori. Il metodo si concentra sulle attività con cambi di postura repentini, dovuti spesso allo spostamento di carichi instabili, analizza le posture e gli aspetti che influiscono sul carico fisico: posture statiche o dinamiche, forza gestita, carico, tipo di presa.

Il calcolo dell'indice REBA è uguale a quello dell'indice RULA, si divide il corpo in due parti: parte A, che comprende collo, tronco e gambe, parte B, che comprende braccio, avambraccio e polso.

Utilizzando le apposite tabelle si assegna un punteggio a ogni zona del corpo e in seguito si assegna un punteggio globale a ciascuna delle due parti A e B; i punteggi vengono assegnati in base all'angolo formato dalla parte del corpo interessata con l'asse di riferimento.

I punteggi, indicati tra le parentesi quadre, per il gruppo A vanno assegnati nel seguente modo:

*Tronco* (Figura 2.3)

[1] quando si è seduti con un angolo anca-tronco di  $90^\circ$  o più

[2] per una flessione o estensione tra  $0^\circ$ - $20^\circ$

[3] per una flessione tra  $20^\circ$ - $60^\circ$  o un'estensione maggiore di  $20^\circ$

[4] per una flessione maggiore di  $60^\circ$

Se il tronco è ruotato o inclinato da un lato, il punteggio viene aumentato di una unità



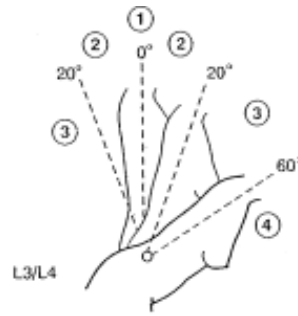


Figura 2.3 – Tronco tratto da Hignett et al. (2000)

*Collo* (Figura 2.4)

[1] per una flessione tra 0°-10°

[2] per una flessione maggiore di 20°

Se il collo è ruotato o inclinato da un lato il punteggio è incrementato di un'unità



Figura 2.4 – Collo tratto da Hignett et al. (2000)

*Gambe* (Figura 2.5)

[1] se le gambe ed i piedi sono bene appoggiati, seduti e/o col corpo ben bilanciato

[1] se in piedi, col peso del corpo ben distribuito su entrambi i piedi con spazio per cambiare posizione

[2] se le gambe ed i piedi non sono ben appoggiati o il peso del corpo non è bilanciato bene

Se le ginocchia compiono una flessione tra 30°-60° il punteggio è incrementato di un'unità

Se le ginocchia compiono una flessione maggiore di 60° il punteggio è incrementato di due unità

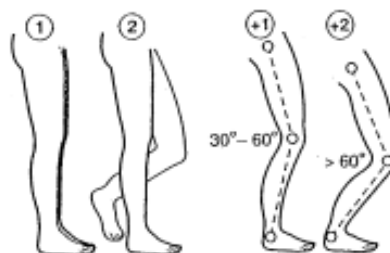


FIGURA 2.5 – Gambe tratto da Hignett et al. (2000)

I punteggi per il gruppo B vanno assegnati nel seguente modo:

*Braccio* (Figura 2.6)

[1] per 20° di estensione o 20° di flessione

[2] per un'estensione superiore a 20° o una flessione compresa tra 20°-45°

[3] per una flessione tra 45°-90°

[4] per una flessione pari o superiore a 90°

Se la spalla è sollevata, il punteggio della postura appena enunciato, viene aumentato di una unità

Se il braccio è abdotto il punteggio è aumentato di una unità

Se il lavoratore è inclinato o il peso dell'arto è sorretto, il punteggio relativo alla postura va diminuito di un'unità

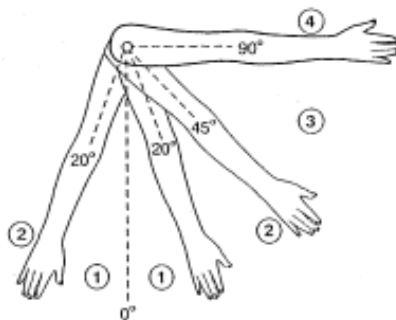


Figura 2.6- Braccio tratto da Hignett et al. (2000)

*Avambraccio* (Figura 2.7)

[1] per una flessione compresa tra 60°-100°

[2] per una flessione inferiore a 60° o superiore a 100°

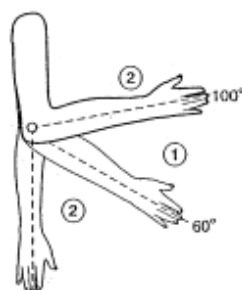


Figura 2.7 – Avambraccio tratto da Hignett et al. (2000)

*Polso* (Figura 2.8)

[1] se è in estensione o in flessione in un intervallo di 0°-15°

[2] per una flessione o estensione superiore a 15°

Se il polso è sottoposto ad una deviazione o rotazione, il punteggio posturale relativo va aumentato di un'unità

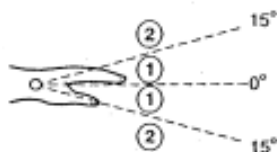


Figura 2.8 – Polso tratto da Hignett et al. (2000)

Da questi punteggi si possono notare le differenze tra i metodi RULA e REBA. Il metodo RULA approfondisce maggiormente i punteggi relativi al collo, avambraccio e in particolare al polso, il metodo REBA, invece, approfondisce maggiormente il punteggio relativo alle gambe.

Una volta noti i valori di rischio associati ad ogni posizione, è possibile assegnare un punteggio complessivo alla parte A (Tabella 2.12) e uno alla parte B (Tabella 2.13).

| Tabella A |   | Collo |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|-----------|---|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|           |   | 1     |   |   |   | 2 |   |   |   | 3 |   |   |   |
| Gambe     |   | 1     | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Tronco    | 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 |

Tabella 2.12 - Punteggio complessivo parte A tratto da Hignett et al. (2000)

| Tabella B |   | Avambraccio |   |   |   |   |   |
|-----------|---|-------------|---|---|---|---|---|
|           |   | 1           |   |   | 2 |   |   |
| Polso     |   | 1           | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Braccio   | 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 |

Tabella 2.13 - Punteggio complessivo parte B tratto da Hignett et al. (2000)

In seguito si modificano i punteggi ottenuti per la parte A e la parte B, considerando il tipo di attività muscolare sviluppata e la forza sviluppata; inserendo poi entrambi i punteggi in un'unica tabella (Tabelle 2.14) si arriva a determinare il valore dell'indice REBA, compreso tra 1 e 15: maggiore è il numero dell'indice, maggiori sono i rischi per l'operatore.

| Punteggio finale |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| A\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 |

Tabella 2.14 – Punteggio finale tratto da Hignett et al. (2000)

I valori dell'indice vengono inoltre divisi in 5 livelli d'azione (Tabella 2.15). Anche dai livelli di rischio è possibile notare la differenza con il metodo RULA, il metodo RULA, infatti, propone 4 livelli di rischio, mentre il metodo REBA ne propone 5, questo è da imputarsi al fatto che con il metodo REBA vengono considerati anche gli arti inferiori.

| LIVELLO | VALORE ASSUNTO | ENTITÀ DEL RISCHIO    |
|---------|----------------|-----------------------|
| 1       | REBA = 1       | ASSENZA DI RISCHIO    |
| 2       | REBA = 2 - 3   | RISCHIO LIEVE         |
| 3       | REBA = 4 - 7   | RISCHIO PRESENTE      |
| 4       | REBA = 8 - 10  | RISCHIO ELEVATO       |
| 5       | REBA = 11 - 15 | RISCHIO MOLTO ELEVATO |

Tabella 2.15 – Livelli di rischio indice REBA tratto da Hignett et al. (2000)

Livello 1: la postura è accettabile se non è mantenuta o ripetuta per lunghi periodi.

Livello 2: sono necessarie ulteriori osservazioni e sono richieste delle modifiche.

Livello 3: sono necessarie indagini e modifiche in tempi brevi.

Livello 4: sono necessarie indagini e modifiche urgenti.

Livello 5: sono necessarie indagini e azioni immediate.

La suddivisione in livelli è importante per determinare in modo sistematico le azioni che costituiscono un rischio per la salute dell'operatore e determinare quali sono le correzioni da fare per prime. In questo modo è possibile gestire le risorse a disposizione dell'azienda nel modo più efficiente possibile, correggendo per primi i problemi che costituiscono un rischio maggiore e successivamente quelli con un rischio via via minore.

## METODO STRAIN INDEX

Il metodo Strain index è stato proposto nel 1995 da J. S. Moore e A. Garg, per valutare il rischio di lesioni negli arti superiori, in particolare su avambraccio e mano, non tenendo conto di gomito e spalla.

Il metodo è prevalentemente usato nel caso di lavori costituiti da un solo compito ripetitivo, per calcolarlo vengono analizzati sei fattori di rischio: intensità dello sforzo, durata dello sforzo nel ciclo, frequenza delle azioni, postura polso-mano, velocità del lavoro, durata del compito nel turno. Ad ogni fattore viene assegnato un valore da 1 a 5 (Tabella 2.16), che indica la rischiosità per l'operatore di lesioni per gli arti superiori: 1 significa basso rischio, 5 corrisponde ad un elevato rischio.

| Valore di rischio | Intensità sforzo | Durata sforzo       | Frequenza azioni      | Postura polso-mano | Velocità del lavoro | Durata compito |
|-------------------|------------------|---------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|----------------|
| 1                 | Lieve            | < 10% del ciclo     | < 4 azioni/minuto     | Molto buona        | Molto bassa         | ≤ 1 ora        |
| 2                 | Medio            | 10% - 29% del ciclo | 4 - 8 azioni/minuto   | Buona              | Bassa               | 1 - 2 ore      |
| 3                 | Elevato          | 30% - 49% del ciclo | 9 - 14 azioni/minuto  | Discreta           | Media               | 2 - 4 ore      |
| 4                 | Molto elevato    | 50% - 79% del ciclo | 15 - 19 azioni/minuto | Scadente           | Alta                | 4 - 8 ore      |
| 5                 | Massimo          | ≥80% del ciclo      | ≥ 20 azioni/minuto    | Pessima            | Molto alta          | > 8 ore        |

Tabella 2.16 – Fattori di rischio tratto da Nappi et al.

Per determinare lo Strain index bisogna moltiplicare i valori di rischio di ogni fattore e in funzione dell'entità dell'indice di rischio è possibile classificare il compito in tre livelli (Tabella 2.17).

| LIVELLO | VALORE ASSUNTO | ENTITÀ DEL RISCHIO   |
|---------|----------------|----------------------|
| 1       | INDICE < 3     | RISCHIO TRASCURABILE |
| 2       | 3 < INDICE < 7 | RISCHIO BASSO        |
| 3       | INDICE > 7     | RISCHIO ALTO         |

Tabella 2.17 – Livello di rischio indice Strain tratto da Nappi et al.

Un indice con valore minore di 3 indica che non c'è rischio di insorgenza di patologie nella mano e nell'avambraccio, pertanto non sono necessarie misure correttive.

Se l'indice è compreso tra i valori 3 e 7 significa che è presente un basso rischio di lesioni, bisogna quindi riprogettare il compito ripetitivo agendo sui diversi fattori.

Se l'indice ha un valore maggiore di 7 c'è la concreta possibilità di insorgenza di patologie, pertanto è necessario un intervento immediato per riprogettare il layout del compito.

## METODO OCRA

---

Il metodo OCRA (Occupational Repetitive Action, Occhipinti 1998) consente una valutazione approfondita del rischio di lesioni da sovraccarico agli arti superiori a causa di compiti ripetitivi; a differenza dell'indice Strain, l'OCRA considera tutto il braccio, dalla spalla alla mano.

Le patologie maggiormente riscontrate che riguardano gli arti superiori sono: tendiniti, tenosinoviti, sindromi da intrappolamento con interessamento nervoso o neurovascolare (ad esempio la sindrome del tunnel carpale), e i conseguenti deficit sensitivi e motori. L'indice OCRA ha quindi lo scopo di identificare le situazioni che possono costituire un rischio per la salute dell'operatore, in modo da intervenire tempestivamente, prima che possano causare effettivi danni.

Per calcolare l'indice vengono considerati alcuni fattori di rischio: frequenza delle azioni, forza applicata, posture incongrue, carenza di momenti di recupero, durata del

compito. Vengono inoltre considerati dei fattori di rischio complementari, variabili a seconda della mansione, che costituiscono una fonte di disagio complessivo per l'operatore (es. strumenti vibranti, condizioni microclimatiche sfavorevoli, ecc.).

L'indice OCRA si calcola facendo il rapporto tra il numero di azioni tecniche (azione che comporta un'attività meccanica) *eseguite* dagli arti superiori in un turno di lavoro e il numero di azioni tecniche *raccomandate* in un turno di lavoro (equazioni 3 e 4). Il denominatore dipende anche da una costante, posta pari a 30 azioni al minuto, e da appositi fattori correttivi che ne diminuiscono il valore a seconda dei fattori di rischio considerati.

$$\text{Indice OCRA} = \frac{n^\circ \text{ azioni tecniche eseguite}}{n^\circ \text{ azioni tecniche raccomandate}} \quad (3)$$

$$n^\circ \text{ azioni tecniche raccomandate} = \sum_{i=1}^n [CF * (F_f * F_p * F_a * D)] * F_r \quad (4)$$

Dove:

$1, \dots, n$  = azioni tecniche che comportano un movimento ripetitivo degli arti superiori;

$CF$  = costante di frequenza del numero di azioni tecniche al minuto in una situazione ottimale (tutti gli altri fattori assumono un valore unitario) pari a 30 azioni tecniche al minuto;

$F_f, F_p, F_a$  = fattori moltiplicativi che variano da 0 a 1 correlati rispettivamente alla forza; ( $F_f$ ), alla postura ( $F_p$ ) e ad altre cause addizionali ( $F_a$ ) come ad esempio le temperature a cui si lavora, o la presenza di movimenti bruschi;

$D$  = durata di ciascuna azione tecnica;

$F_r$  = fattore moltiplicativo che varia da 0 a 1 correlato alla mancanza di un periodo di recupero durante l'intero turno di lavoro.

In base al valore dell'indice OCRA si possono individuare 5 livelli di rischio (Tabella 2.18).

| LIVELLO | VALORE ASSUNTO  | ENTITÀ DEL RISCHIO |
|---------|-----------------|--------------------|
| 1       | OCRA < 0,75     | ASSENZA DI RISCHIO |
| 2       | 0,75 < OCRA < 4 | RISCHIO LIEVE      |
| 3       | OCRA > 4        | RISCHIO PRESENTE   |

Tabella 2.18 – Livello di rischio indice OCRA tratto da Occhipinti (1998)

Livello 1: l'indice ha un punteggio minore di 0,75 quindi la condizione presa in esame è pienamente accettabile.

Livello 2: l'indice di esposizione è compreso nell'intervallo da 0,75 a 4, significa che esiste un lieve rischio di lesioni, non sono necessari interventi immediati ma è consigliabile attivare la formazione e la sorveglianza sanitaria del personale addetto.

Livello 3: l'indice ha un punteggio maggiore di 4, il rischio di lesioni è elevato pertanto dovrebbero essere intraprese azioni per migliorare le condizioni di lavoro.

## METODO NIOSH

Il metodo NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health) è stato formulato nel 1993 per valutare la movimentazione manuale dei carichi (MMC) più o meno voluminosi e pesanti, questo tipo di movimenti può causare problemi alla schiena e disturbi muscolo – scheletrici.

Per determinare l'indice di rischio bisogna innanzitutto determinare il peso limite raccomandato (RWL), basandosi sul peso massimo sollevabile e una serie di fattori moltiplicativi (equazione 5).

$$RWL = LC * HM * VM * DM * AM * FM * CM \quad (5)$$

Dove:

*RWL* = peso limite raccomandato;

*LC* = costante di carico pari a 23 kg;



*HM* = fattore moltiplicativo che varia da 0 a 1 correlato alla distanza massima del peso dal corpo durante il sollevamento;

*VM* = fattore moltiplicativo che varia da 0 a 1 correlato all'altezza da terra delle mani all'inizio ed alla fine del sollevamento;

*DM* = fattore moltiplicativo che varia da 0 a 1 correlato alla distanza verticale del peso tra l'inizio e la fine del sollevamento;

*AM* = fattore moltiplicativo espresso in gradi correlato alla dislocazione angolare del peso rispetto al piano sagittale del soggetto;

*FM* = fattore moltiplicativo che varia da 0 a 1 correlato alla frequenza di sollevamento del carico;

*CM* = fattore moltiplicativo che riflette la bontà della presa dell'operatore sull'oggetto sollevato.

Il rischio associato ad ogni movimento è valutato dal lifting index (LI, equazione 6):

$$LI = \frac{\text{carico sollevato}}{RWL} \quad (6)$$

A seconda del valore assunto dal lifting index è possibile individuare quattro livelli di rischio (Tabella 2.19).

| LIVELLO | VALORE ASSUNTO  | ENTITÀ DEL RISCHIO    |
|---------|-----------------|-----------------------|
| 1       | $LI < 0,85$     | ASSENZA DI RISCHIO    |
| 2       | $0,85 < LI < 1$ | RISCHIO LIEVE         |
| 3       | $1 \leq LI < 3$ | RISCHIO ELEVATO       |
| 4       | $LI > 3$        | RISCHIO MOLTO ELEVATO |

Tabella 2.19 – Livello di rischio indice NIOSH tratto da lifting index

Livello 1: la situazione è accettabile e non è richiesto alcuno specifico intervento.

Livello 2: esiste un lieve rischio di lesioni, ma non sono necessari interventi immediati.

Livello 3: il rischio di lesioni è elevato, sono necessarie delle modifiche urgenti.

Livello 4: il rischio è grave, bisogna intervenire immediatamente per attuare delle modifiche.

## METODO SNOOK E CIRIELLO

Il metodo Snook Ciriello, proposto dagli autori nel 1991, viene utilizzato per valutare i rischi dovuti alle azioni di traino, spinta o trasporto in piano.

Si utilizzano le “Tabelle psicofisiche” (Tabelle 2.20 - 2.25) in cui vengono riportate informazioni sulle capacità e limitazioni dei lavoratori riguardo alla movimentazione manuale dei carichi. Le tabelle forniscono i valori limite (valori consigliati) della forza esercitata o del peso (in kg), nella fase iniziale (FI) e nella fase di mantenimento (FM) dell’azione; i valori delle forze dipendono da vari fattori: sesso dell’individuo, frequenza dell’azione, distanza di trasporto, altezza da terra del punto di applicazione della spinta (altezza delle mani), ecc.

| Azioni di spinta – Popolazione maschile |             |    |     |    |    |     |           |     |     |    |    |     |          |     |     |    |    |     |          |    |    |     |    |  |
|---|-------------|----|-----|----|----|-----|-----------|-----|-----|----|----|-----|----------|-----|-----|----|----|-----|----------|----|----|-----|----|--|
| Distanza                                | 2 metri     |    |     |    |    |     | 7,5 metri |     |     |    |    |     | 15 metri |     |     |    |    |     | 60 metri |    |    |     |    |  |
|   | Azione ogni | 6s | 12s | 1m | 5m | 30m | 8h        | 15s | 22s | 1m | 5m | 30m | 8h       | 25s | 35s | 1m | 5m | 30m | 8h       | 2m | 5m | 30m | 8h |  |
| Altezza delle mani                      |             |    |     |    |    |     |           |     |     |    |    |     |          |     |     |    |    |     |          |    |    |     |    |  |
| 145 cm                                  | FI          | 20 | 22  | 25 | 26 | 26  | 31        | 14  | 16  | 21 | 22 | 22  | 26       | 16  | 18  | 19 | 20 | 21  | 25       | 12 | 14 | 14  | 18 |  |
|   | FM          | 10 | 13  | 15 | 18 | 18  | 22        | 8   | 9   | 13 | 15 | 16  | 18       | 8   | 9   | 11 | 13 | 14  | 16       | 7  | 8  | 9   | 11 |  |
| 95 cm                                   | FI          | 21 | 24  | 26 | 28 | 28  | 34        | 16  | 18  | 23 | 25 | 25  | 30       | 18  | 21  | 22 | 23 | 24  | 28       | 14 | 16 | 16  | 20 |  |
|   | FM          | 10 | 13  | 16 | 19 | 19  | 23        | 8   | 10  | 13 | 15 | 15  | 18       | 8   | 10  | 11 | 13 | 13  | 16       | 7  | 8  | 9   | 11 |  |
| 65 cm                                   | FI          | 19 | 22  | 24 | 25 | 26  | 31        | 13  | 14  | 20 | 21 | 21  | 26       | 15  | 17  | 19 | 20 | 20  | 24       | 12 | 14 | 14  | 17 |  |
|   | FM          | 10 | 13  | 16 | 18 | 19  | 23        | 8   | 10  | 12 | 14 | 15  | 18       | 8   | 10  | 11 | 12 | 13  | 15       | 7  | 8  | 9   | 10 |  |

Tabella 2.20 – Azioni di spinta popolazione maschile tratto da SAMATools

| Azioni di spinta – Popolazione femminile |             |    |     |    |    |     |           |     |     |    |    |     |          |     |     |    |    |     |          |    |    |     |    |  |
|--|-------------|----|-----|----|----|-----|-----------|-----|-----|----|----|-----|----------|-----|-----|----|----|-----|----------|----|----|-----|----|--|
| Distanza                                 | 2 metri     |    |     |    |    |     | 7,5 metri |     |     |    |    |     | 15 metri |     |     |    |    |     | 60 metri |    |    |     |    |  |
|  | Azione ogni | 6s | 12s | 1m | 5m | 30m | 8h        | 15s | 22s | 1m | 5m | 30m | 8h       | 25s | 35s | 1m | 5m | 30m | 8h       | 2m | 5m | 30m | 8h |  |
| Altezza delle mani                       |             |    |     |    |    |     |           |     |     |    |    |     |          |     |     |    |    |     |          |    |    |     |    |  |
| 145 cm                                   | FI          | 14 | 15  | 17 | 20 | 21  | 22        | 15  | 16  | 16 | 18 | 19  | 20       | 12  | 14  | 14 | 15 | 16  | 17       | 12 | 13 | 14  | 15 |  |
|  | FM          | 6  | 8   | 10 | 11 | 12  | 14        | 6   | 7   | 7  | 8  | 9   | 11       | 5   | 6   | 6  | 7  | 7   | 9        | 4  | 4  | 4   | 6  |  |
| 95 cm                                    | FI          | 14 | 15  | 17 | 20 | 21  | 22        | 14  | 15  | 16 | 19 | 19  | 21       | 11  | 13  | 14 | 16 | 16  | 17       | 12 | 13 | 14  | 16 |  |
|  | FM          | 6  | 7   | 9  | 10 | 11  | 13        | 6   | 7   | 8  | 9  | 9   | 11       | 5   | 6   | 6  | 7  | 8   | 10       | 4  | 4  | 5   | 6  |  |
| 65 cm                                    | FI          | 11 | 12  | 14 | 16 | 17  | 16        | 11  | 12  | 14 | 16 | 16  | 17       | 9   | 11  | 12 | 13 | 14  | 15       | 10 | 11 | 12  | 13 |  |
|  | FM          | 5  | 6   | 8  | 9  | 9   | 12        | 6   | 7   | 7  | 8  | 9   | 11       | 5   | 6   | 6  | 7  | 7   | 9        | 4  | 4  | 4   | 6  |  |

Tabella 2.21 – Azioni di spinta popolazione femminile tratto da SAMATools

| Azioni di traino – Popolazione maschile |             |    |     |    |    |     |           |     |     |    |    |     |          |     |     |    |    |     |          |    |    |     |    |
|---|-------------|----|-----|----|----|-----|-----------|-----|-----|----|----|-----|----------|-----|-----|----|----|-----|----------|----|----|-----|----|
| Distanza                                | 2 metri     |    |     |    |    |     | 7,5 metri |     |     |    |    |     | 15 metri |     |     |    |    |     | 60 metri |    |    |     |    |
|   | Azione ogni | 6s | 12s | 1m | 5m | 30m | 8h        | 15s | 22s | 1m | 5m | 30m | 8h       | 25s | 35s | 1m | 5m | 30m | 8h       | 2m | 5m | 30m | 8h |
| Altezza delle mani                      |             |    |     |    |    |     |           |     |     |    |    |     |          |     |     |    |    |     |          |    |    |     |    |
| 135 cm                                  | FI          | 14 | 16  | 18 | 19 | 19  | 23        | 11  | 13  | 16 | 17 | 18  | 21       | 13  | 15  | 15 | 16 | 17  | 20       | 10 | 11 | 11  | 14 |
|   | FM          | 8  | 10  | 12 | 15 | 15  | 16        | 6   | 8   | 10 | 12 | 12  | 15       | 7   | 8   | 9  | 10 | 11  | 13       | 6  | 6  | 7   | 9  |
| 90 cm                                   | FI          | 19 | 22  | 25 | 27 | 27  | 32        | 15  | 18  | 23 | 24 | 24  | 29       | 18  | 20  | 21 | 23 | 23  | 28       | 13 | 18 | 16  | 19 |
|   | FM          | 10 | 13  | 16 | 19 | 20  | 24        | 6   | 10  | 13 | 16 | 16  | 19       | 9   | 10  | 12 | 14 | 14  | 17       | 7  | 9  | 10  | 12 |
| 60 cm                                   | FI          | 22 | 25  | 28 | 30 | 30  | 36        | 18  | 20  | 26 | 27 | 28  | 33       | 20  | 23  | 24 | 26 | 26  | 31       | 15 | 18 | 18  | 22 |
|   | FM          | 11 | 14  | 17 | 20 | 21  | 25        | 9   | 11  | 14 | 17 | 17  | 20       | 9   | 11  | 12 | 15 | 15  | 18       | 8  | 9  | 10  | 12 |

Tabella 2.22 – Azioni di traino popolazione maschile tratto da SAMATools

| Azioni di traino – Popolazione femminile |             |    |     |    |    |     |           |     |     |    |    |     |          |     |     |    |    |     |          |    |    |     |    |
|--|-------------|----|-----|----|----|-----|-----------|-----|-----|----|----|-----|----------|-----|-----|----|----|-----|----------|----|----|-----|----|
| Distanza                                 | 2 metri     |    |     |    |    |     | 7,5 metri |     |     |    |    |     | 15 metri |     |     |    |    |     | 60 metri |    |    |     |    |
|  | Azione ogni | 6s | 12s | 1m | 5m | 30m | 8h        | 15s | 22s | 1m | 5m | 30m | 8h       | 25s | 35s | 1m | 5m | 30m | 8h       | 2m | 5m | 30m | 8h |
| Altezza delle mani                       |             |    |     |    |    |     |           |     |     |    |    |     |          |     |     |    |    |     |          |    |    |     |    |
| 135 cm                                   | FI          | 13 | 16  | 17 | 20 | 21  | 22        | 13  | 14  | 16 | 18 | 19  | 20       | 10  | 12  | 13 | 15 | 16  | 17       | 12 | 13 | 14  | 15 |
|  | FM          | 6  | 9   | 10 | 11 | 12  | 15        | 7   | 8   | 9  | 10 | 11  | 13       | 6   | 7   | 7  | 8  | 9   | 11       | 5  | 5  | 5   | 7  |
| 90 cm                                    | FI          | 14 | 16  | 18 | 21 | 22  | 23        | 14  | 15  | 15 | 19 | 20  | 21       | 10  | 12  | 14 | 16 | 17  | 18       | 12 | 13 | 14  | 16 |
|  | FM          | 6  | 9   | 10 | 11 | 12  | 14        | 7   | 8   | 9  | 10 | 10  | 13       | 5   | 6   | 7  | 8  | 9   | 11       | 5  | 5  | 5   | 7  |
| 60 cm                                    | FI          | 15 | 17  | 19 | 22 | 23  | 24        | 15  | 16  | 17 | 20 | 21  | 22       | 11  | 13  | 15 | 17 | 18  | 19       | 13 | 14 | 15  | 17 |
|  | FM          | 5  | 8   | 9  | 10 | 11  | 13        | 6   | 7   | 8  | 9  | 10  | 12       | 5   | 6   | 7  | 7  | 8   | 10       | 4  | 5  | 5   | 6  |

Tabella 2.23 – Azioni di traino popolazione femminile tratto da SAMATools

| Azioni di trasporto in piano – Popolazione maschile |             |    |     |    |    |     |           |     |     |    |    |     |          |     |     |    |    |     |    |    |    |     |    |  |  |  |  |
|---|-------------|----|-----|----|----|-----|-----------|-----|-----|----|----|-----|----------|-----|-----|----|----|-----|----|----|----|-----|----|--|--|--|--|
| Distanza  | 2 metri     |    |     |    |    |     | 7,5 metri |     |     |    |    |     | 15 metri |     |     |    |    |     |    |    |    |     |    |  |  |  |  |
|   | Azione ogni | 6s | 12s | 1m | 5m | 30m | 8h        | 15s | 22s | 1m | 5m | 30m | 8h       | 25s | 35s | 1m | 5m | 30m | 8h | 2m | 5m | 30m | 8h |  |  |  |  |
| Altezza delle mani                                  |             |    |     |    |    |     |           |     |     |    |    |     |          |     |     |    |    |     |    |    |    |     |    |  |  |  |  |
| 110 cm  |             | 10 | 14  | 17 | 19 | 21  | 25        | 9   | 11  | 15 | 17 | 19  | 22       | 10  | 11  | 13 | 15 | 17  | 20 |    |    |     |    |  |  |  |  |
| 80 cm   |             | 13 | 17  | 21 | 23 | 26  | 31        | 11  | 14  | 18 | 21 | 23  | 27       | 13  | 15  | 17 | 20 | 22  | 26 |    |    |     |    |  |  |  |  |

Tabella 2.24 – Azioni di trasporto in piano popolazione maschile tratto da SAMATools

| Azioni di trasporto in piano – Popolazione femminile |             |    |     |    |    |     |           |     |     |    |    |     |          |     |     |    |    |     |    |    |    |     |    |  |  |  |  |
|--|-------------|----|-----|----|----|-----|-----------|-----|-----|----|----|-----|----------|-----|-----|----|----|-----|----|----|----|-----|----|--|--|--|--|
| Distanza   | 2 metri     |    |     |    |    |     | 7,5 metri |     |     |    |    |     | 15 metri |     |     |    |    |     |    |    |    |     |    |  |  |  |  |
|  | Azione ogni | 6s | 12s | 1m | 5m | 30m | 8h        | 15s | 22s | 1m | 5m | 30m | 8h       | 25s | 35s | 1m | 5m | 30m | 8h | 2m | 5m | 30m | 8h |  |  |  |  |
| Altezza delle mani                                   |             |    |     |    |    |     |           |     |     |    |    |     |          |     |     |    |    |     |    |    |    |     |    |  |  |  |  |
| 100 cm   |             | 11 | 12  | 13 | 13 | 13  | 18        | 9   | 10  | 13 | 13 | 13  | 18       | 10  | 11  | 12 | 12 | 12  | 16 |    |    |     |    |  |  |  |  |
| 70 cm  |             | 13 | 14  | 16 | 16 | 16  | 22        | 10  | 11  | 14 | 14 | 14  | 20       | 12  | 12  | 14 | 14 | 14  | 19 |    |    |     |    |  |  |  |  |

Tabella 2.25 – Azioni di trasporto in piano popolazione femminile tratto da SAMATools

L'indice di rischio è dato dal rapporto tra la forza effettivamente esercitata e la forza consigliata dalle precedenti tabelle. Sulla base dei risultati ottenuti è possibile individuare le attività che costituiscono un maggiore rischio per l'operatore e, di conseguenza, le aree su cui intervenire (Tabella 2.26).

| <b>LIVELLO</b> | <b>VALORE ASSUNTO</b> | <b>ENTITÀ DEL RISCHIO</b> |
|----------------|-----------------------|---------------------------|
| 1              | INDICE = 0,75         | ASSENZA DI RISCHIO        |
| 2              | 0,75 < INDICE < 1,25  | RISCHIO LIEVE             |
| 3              | INDICE > 1,25         | RISCHIO ELEVATO           |
| 4              | INDICE > 3            | RISCHIO MOLTO ELEVATO     |

Tabella 2.26 – Livello di rischio indice SNOOK CIRIELLO tratto da SAMATools

Livello 1: Non c'è rischio per l'operatore pertanto non sono necessari interventi.

Livello 2: Esiste un possibile rischio per alcuni operatori, non sono necessari interventi immediati ma è consigliato attivare la formazione e la sorveglianza sanitaria del personale addetto.

Livello 3: La situazione può comportare un rischio elevato per gli operatori, è necessario un intervento di prevenzione primaria.

Livello 4: Il rischio di infortuni per gli operatori è molto elevato, è necessario un intervento immediato per attuare delle modifiche.

# 3

## WORKSTATION

---

Una workstation è una postazione di lavoro dotata di particolari strumenti che permettono all'operatore di svolgere le sue mansioni. Le postazioni sono progettate per facilitare lo svolgimento di compiti specifici nel processo di produzione, e contribuire a migliorare l'efficienza, la produttività e il controllo della qualità del prodotto. Sono una componente essenziale di molti processi di produzione e sono spesso personalizzate per soddisfare le esigenze specifiche di un particolare settore o prodotto.

La workstation più comune è quella dotata di un computer, in cui l'operatore svolge il suo lavoro utilizzando un terminale, seduto ad una scrivania. Esistono tuttavia numerosi tipi di postazioni di lavoro, con caratteristiche molto diverse tra loro per poter eseguire compiti diversi. Nell'industria manifatturiera, ad esempio, si utilizzano spesso le postazioni di assemblaggio, di saldatura, di lavorazione (taglio, modellatura e finitura), d'ispezione e di confezionamento. Ciascuna di queste postazioni svolge in compito differente dalle altre, pertanto avrà dimensioni e strumenti differenti, e anche l'operatore si muoverà in modo diverso in ciascuna postazione.

Le workstation si differenziano anche per il livello di automazione. Possono utilizzare macchinari semplici azionati da un operatore, oppure macchine con software complessi che devono essere manovrate da operatori specializzati. Le postazioni possono anche essere dotate di robot collaborativi, ossia di robot che lavorano assieme all'operatore, svolgendo i compiti più pericolosi, ripetitivi o usuranti. Alcune postazioni sono completamente automatizzate, è presente un robot che esegue tutte le mansioni mentre l'operatore ha solo il compito di supervisionare.

Ogni postazione richiede, quindi, uno studio del layout che si adatti alle esigenze delle mansioni. Tuttavia è possibile utilizzare una serie di linee guida per la progettazione, andando poi ad adattare il layout alle necessità della particolare postazione.

## PROGETTAZIONE WORKSTATION

---

Secondo lo studio di Das et al. (1996), una workstation può essere progettata in modo sistematico seguendo una serie di linee guida, che tengono in considerazione la progettazione delle attività, il layout del posto di lavoro e il benessere dell'operatore. Si può utilizzare un approccio sistematico applicando i seguenti passaggi:

1. Raccolta informazioni necessarie per la progettazione
2. Identificazione della popolazione di utenti appropriata
3. Determinazione delle dimensioni della workstation
4. Realizzazione del modello e revisione per eventuali modifiche
5. Realizzazione di un prototipo

---

### RACCOLTA INFORMAZIONI

---

Per progettare una postazione di lavoro bisogna innanzitutto raccogliere le informazioni riguardanti la postazione.

Queste informazioni possono essere il tipo di prodotto finito che si ottiene dalla workstation, il tipo di lavorazione eseguita (ad es. assemblaggio, saldatura, finitura, ecc.), gli strumenti da utilizzare, la durata del turno di lavoro e altre caratteristiche peculiari della determinata postazione.

Si tratta di una fase fondamentale della progettazione, poiché sulla base dei dati raccolti si andrà a determinare su quali caratteristiche si deve concentrare la progettazione, in modo da risultare più efficiente in termini di tempo e risorse utilizzate. Se le informazioni vengono raccolte in modo approssimativo o non corretto si rischia di progettare una workstation che non rispetta le caratteristiche richieste dall'azienda, comportano uno spreco di tempo e denaro.

Per quanto riguarda la progettazione si possono utilizzare due metodi: il primo è la progettazione ex novo, che viene utilizzato nel caso di una nuova workstation, mentre il secondo è la riprogettazione, che permette di modificare una postazione già esistente.

Le informazioni necessarie alla progettazione vengono ricavate, nel caso della riprogettazione, dalla postazione esistente mentre, nel caso della progettazione ex novo, da una postazione simile. Ad esempio se si deve progettare una postazione di assemblaggio di tubi ad alta pressione si può partire dal progetto della postazione di assemblaggio di cablaggi.

Esistono vari metodi per ricavare le informazioni necessarie, i più utilizzati sono i questionari e le videoregistrazioni. I questionari vengono compilati dagli operatori e si focalizzano su tre obiettivi: valutare l'equipaggiamento e i fattori ambientali, come la temperatura, la luce, i rumori e lo spazio di lavoro; documentare il livello di affaticamento fisico e mentale a cui sono sottoposti gli operatori; valutare se gli operatori assumono posizioni potenzialmente pericolose per la loro salute. Le videoregistrazioni permettono di vedere direttamente lo svolgimento dei compiti nella postazione.

---

## POPOLAZIONE DI UTENTI

---

Il secondo passaggio nella progettazione di una postazione di lavoro è l'identificazione della popolazione di utenti appropriata. Sono stati svolti, infatti, numerosi studi che dimostrano come le differenze dei lavoratori possono influenzare il sistema produttivo in termini di costo, tempo e rendimento. Queste differenze influenzano maggiormente la produttività di tutte le aree in cui la presenza umana è fondamentale allo svolgimento dei compiti, come ad esempio nelle aree di assemblaggio. Per questo motivo è importante tenerne conto nella progettazione delle workstation.

Esistono vari parametri che differenziano un individuo da un altro e che possono interessare un certo tipo di postazione piuttosto che un altro; secondo lo studio di Katirae et al. (2021) si possono considerare quattro principali parametri: le abilità, l'età, il genere e le misure antropometriche (statura, peso, ecc.).

Con *abilità* si intendono le capacità personali e professionali come ad esempio l'esperienza, la velocità, la motivazione, il livello di competenza e la capacità di

apprendimento. Questi fattori vanno tenuti in considerazione in fase di progettazione perché possono influire notevolmente nel costo di produzione, nella qualità e nella produttività. Se la postazione ha un elevato livello di complessità, in termini di macchinari o procedure, sono necessari degli operatori con delle competenze appropriate, oppure l'azienda deve formare operatori privi di tali competenze. Questo costituisce un costo che l'azienda deve considerare. D'altro canto, inserire degli operatori con alti livelli di competenza in postazioni che non ne necessitano, è uno spreco di risorse e nel lungo periodo può portare a demotivare i dipendenti.

L'età è un altro parametro che influenza i sistemi produttivi, è pertanto necessario individuare l'età media dei lavoratori prima di progettare una postazione di lavoro. In generale l'età influenza due parametri: l'esperienza e le prestazioni fisiche. Un lavoratore anziano tendenzialmente possiede una maggiore esperienza che può sfruttare nella nuova postazione, tuttavia le capacità fisiche e cognitive possono essere ridotte, pertanto è maggiormente esposto al rischio di lesioni all'apparato muscolo scheletrico; un lavoratore giovane, invece, possiede una minore esperienza quindi l'azienda potrebbe dover investire nella sua formazione, tuttavia è meno soggetto al rischio di elezioni per via delle maggiori capacità fisiche e cognitive.

Nella progettazione bisogna, quindi, bilanciare la necessità di capacità fisiche/cognitive con l'esperienza e identificare la capacità dei singoli lavoratori per assegnare loro i compiti più appropriati.

Anche il *genere* può influenzare l'attività lavorativa. Statisticamente donne e uomini sono fisicamente differenti e pertanto possono svolgere sforzi fisici diversi: gli uomini sono generalmente in grado di sollevare carichi più pesanti e sono più alti delle donne, pertanto possono raggiungere ripiani più elevati; le donne d'altro canto sono più agili e più abili nei lavori manuali e, grazie alle dimensioni più ridotte, possono muoversi più facilmente in spazi piccoli.

L'ultimo parametro che deve essere considerato è l'*antropometria*, ossia le misure del corpo. È importante individuare le dimensioni medie degli utenti che dovranno utilizzare la postazione di lavoro in modo da poter progettare una workstation che si adatti il più possibile agli operatori. Una postazione di lavoro nel settore tessile, ad esempio, sarà progettata per essere utilizzata principalmente da donne quindi bisogna



tener conto delle dimensioni fisiche medie della popolazione femminile che sono ben diverse da quelle della popolazione maschile. Le dimensioni fisiche variano anche da nazione a nazione, una postazione progettata per un'azienda situata nei paesi scandinavi, dove l'altezza media per gli uomini è di circa 180 cm, avrà dimensioni diverse rispetto a quella di un'azienda situata in India, dove l'altezza media per gli uomini è di 165 cm.

---

## DIMENSIONI WORKSTATION

---

Le dimensioni della postazione devono esser tali da poter permettere all'operatore di svolgere i propri compiti liberamente e senza dover assumere posizioni potenzialmente pericolose per la propria salute. Pertanto nella progettazione della postazione di lavoro si utilizzano le misure antropometriche per determinare quattro parametri essenziali: l'altezza del lavoro, la portata normale e massima, lo spazio laterale e l'angolo di visione.

Come descritto da Das et al. nello studio "Industrial workstation design: A systematic approach", la postazione di lavoro deve avere un'altezza tale da garantire il comfort dell'operatore e devono poter essere regolabili l'altezza del sedile e quella del tavolo di lavoro. In base al tipo di lavoro deve essere mantenuto un rapporto determinato tra l'altezza della superficie di lavoro e l'altezza del gomito. La Tabella 3.1 riporta le misure in cm per il 5°, 50° e 95° percentile per la popolazione femminile, dell'altezza del piano di lavoro in base al tipo di lavoro svolto.

| <b>Tipo di lavoro</b>   | <b>Popolazione percentile</b> |            |            |
|---|-------------------------------|------------|------------|
|   | <b>5°</b>                     | <b>50°</b> | <b>95°</b> |
| Lavoro delicato con necessità di visuale ravvicinata            | 99-104                        | 110-115    | 116-121    |
| Lavoro manuale  | 84-89                         | 90-95      | 96-101     |
| Lavoro forzato aiutato dal peso della parte superiore del corpo | 59-84                         | 65-90      | 71-96      |

Tabella 3.1 - Altezza piano di lavoro in piedi per operatrici in cm tratto da Das et al. (1996)

Per calcolare l'intervallo di regolazione in altezza, lo spazio per le cosce tra il sedile e il fondo del piano di lavoro e l'altezza del poggiapiedi nel caso in cui l'operatore sia seduto, si utilizzano le misure antropometriche dell'altezza del gomito da seduto, l'altezza del sedile e lo spessore della coscia. Si utilizzano in genere le misure del 5° e 95° percentile per rendere la postazione compatibile sia con persone piccole sia con persone grandi.

La portata normale è definita dalla punta del pollice mentre l'avambraccio si muove con un movimento circolare sulla superficie del tavolo e la parte superiore del braccio è mantenuta in posizione rilassata verso il basso. L'area di lavoro è lo spazio di fronte all'operatore che si trova su un piano orizzontale rispetto all'altezza del gomito.

La portata massima è definita dai limiti sulla superficie di lavoro di fronte all'operatore a cui questo può arrivare senza flettere il busto. Essa si determina calcolando il raggio R formato dalla mano estesa mentre si sposta sulla superficie di lavoro, centrata sull'articolazione della spalla (equazione 7).

$$R = \sqrt{\{K^2 - (E - L)^2\}} \quad (7)$$

Dove: R = raggio braccio esteso, cm

K = lunghezza del braccio, cm

E = altezza delle spalle, cm

L = altezza del gomito, cm

Gli utensili, i comandi e i contenitori vanno disposti secondo un criterio di utilizzo, quelli utilizzati di frequente vanno posti all'interno dello spazio della portata normale, gli altri vanno disposti nello spazio di massima portata. Bisogna evitare di disporre utensili o comandi fuori dalla portata massima dell'operatore, perché ciò porterebbe l'operatore ad assumere posizioni potenzialmente dannose per la sua salute. Nella Tabella 3.2 sono riportate le misure antropometriche e la portata massima in cm per il 5°, 50° e 95° percentile per la popolazione femminile.

|                              | Popolazione percentile |     |     |
|------------------------------|------------------------|-----|-----|
|                              | 5°                     | 50° | 95° |
| <b>Lunghezza braccio (K)</b> | 60                     | 66  | 72  |
| <b>Altezza spalle (E)</b>    | 128                    | 138 | 147 |
| <b>Altezza gomito (L)</b>    | 99                     | 105 | 111 |
| <b>Portata massima (R)</b>   | 53                     | 58  | 63  |

Tabella 3.2 - Misure antropometriche e portata massima per operatrici in cm tratto da Das et al. (1996)

L'operatore deve avere spazio a sufficienza per i gomiti e all'altezza della vita per poter garantire libertà di movimento. Lo spazio laterale minimo a livello della vita si ottiene aggiungendo 10 cm alla larghezza dei fianchi. Per determinare il gioco a livello del gomito bisogna calcolare l'area descritta quando il gomito si allontana dal corpo in un percorso circolare, mentre l'avambraccio spazza; lo spazio laterale si calcola considerando la distanza da gomito a gomito e l'ampiezza di entrambi i gomiti all'interno della normale area di lavoro orizzontale e aggiungendo 5 cm su entrambi i lati. Le misure per il 5°, 50° e 95° percentile per la popolazione femminile sono riportati nella Tabella 3.3.

|   | Popolazione percentile |     |     |
|---|------------------------|-----|-----|
|   | 5°                     | 50° | 95° |
| <b>Larghezza fianchi (W)</b>                                  | 40                     | 45  | 52  |
| <b>Da gomito a gomito (H)</b>                                 | 36                     | 38  | 44  |
| <b>Profondità corpo (G)</b>                                   | 22                     | 25  | 28  |
| <b>Spazio a livello della vita</b><br><b>C1 = W + 10</b>      | 50                     | 55  | 62  |
| <b>Spazio al livello del gomito</b><br><b>C2 = H + G + 10</b> | 68                     | 73  | 81  |

Tabella 3.3 - Misure antropometriche per lo spazio laterale per operatrici in cm tratto da Das et al. (1996)

In generale gli operatori preferiscono uno sguardo rivolto verso il basso per visualizzare i display. Se l'operatore è seduto, con testa e tronco eretti, la linea di vista preferita è di

29° al di sotto del piano orizzontale o del livello degli occhi. Nel caso di operatori in piedi l'altezza degli occhi consigliata è riportata dalla Tabella 3.4.

|  | Popolazione percentile |       |       |
|--|------------------------|-------|-------|
|  | 5°                     | 50°   | 95°   |
| <b>Altezza occhi per operatrici in piedi in cm</b> | 143.6                  | 153.5 | 163.4 |

Tabella 3.4 - Altezza occhi per operatrici in piedi in cm tratto da Das et al. (1996)

Usando la trigonometria è possibile calcolare l'angolo di visuale a partire dalla distanza orizzontale del display dalla posizione dell'occhio dell'operatore.

---

## MODELLO E SIMULAZIONI

---

Una volta ottenuti tutti i dati necessari si prosegue con la realizzazione di un modello di scala del layout della postazione utilizzando appositi software. Dal modello è possibile verificare, attraverso l'utilizzo di metodi diversi, se la postazione risulta ergonomicamente adatta all'utilizzo da parte di operatori umani. I metodi di autovalutazione utilizzano strumenti soggettivi, come questionari e interviste; i metodi osservazionali si servono di video delle sequenze delle attività per analizzare le operazioni manuali attraverso vari software di analisi ergonomica; i metodi diretti raccolgono i dati attraverso sensori attaccati al corpo dell'utente. Tutti questi metodi necessitano della realizzazione in scala reale del prototipo della postazione e questo richiede tempo e denaro.

Per ridurre i tempi e i costi di progettazione dell'analisi ergonomica in ambito industriale, sono stati sviluppati dei metodi basati sulla simulazione virtuale. Questi metodi permettono di analizzare gli ambienti di lavoro effettivi e le azioni svolte dagli operatori tramite l'utilizzo di un software. Se da un lato l'utilizzo di un software permette di evitare la produzione di molti prototipi prima di ottenere il layout finale, e quindi permette di abbattere i costi di produzione, dall'altro richiede una lunga attività di sviluppo della simulazione e personale specializzato. Un altro svantaggio che presentano i sistemi totalmente virtuali è la mancanza del fattore umano: nella simulazione l'operatore si muove eseguendo solo i movimenti per i quali è stato

programmato, che sono movimenti ideali, nella realtà invece l'essere umano è in grado di improvvisare e di adattarsi a diverse situazioni ed esegue i compiti in modo non standardizzato, pertanto potrebbe assumere posture pericolose che il software non farebbe.

Per limitare questi problemi vengono utilizzati dei sistemi di tracciamento per registrare i movimenti reali dell'operatore durante l'esecuzione dei compiti in una postazione di lavoro reale o virtuale. Questi sistemi portano a due fondamentali vantaggi. Il primo è che permettono di ridurre i tempi e i costi di programmazione perché si utilizza un software apposito, già programmato, per acquisire i movimenti reali dell'operatore, senza doverli creare con il computer; inoltre non è necessario un personale specializzato nella programmazione dei movimenti umani, ma è sufficiente che gli addetti alla simulazione siano formati all'utilizzo di tali software. Il secondo vantaggio è che permettono di catturare i movimenti reali dell'operatore per utilizzarli nella simulazione al posto di movimenti ideali programmati, rendendo la simulazione più realistica e permettendo di individuare reali problemi che possono insorgere a causa della non corretta esecuzione delle operazioni.

Anche i sistemi con tracciamento possiedono delle limitazioni: se la postazione è reale rimane il problema della realizzazione dei prototipi e del relativo costo, se la postazione è virtuale l'operatore deve interagire con oggetti virtuali, i quali non gli permettono di percepire le dimensioni reali (peso, volume, superficie liscia, ecc.), portando l'operatore a eseguire movimenti non del tutto realistici.

Come riportato nello studio di Barbieri et al. (2020) queste limitazioni possono essere superate tramite l'utilizzo di sistemi Mixed Reality (MR), i quali combinano i vantaggi della simulazione virtuale e dei sistemi di tracciamento (ridotti tempi e costi di progettazione e acquisizione movimenti reali) con l'utilizzo di prototipi fisici. I sistemi MR permettono, infatti, di simulare le operazioni da eseguire nella postazione manipolando oggetti reali all'interno di uno scenario virtuale.

L'operatore si muove nell'area per la cattura dei movimenti, dotata un prototipo parziale della postazione, indossando un particolare equipaggiamento che al contempo permette all'operatore di simulare i compiti nella postazione e al software di registrare tali movimenti (Figura 3.1). L'equipaggiamento è costituito da un dispositivo HDM (Head

Mounted Display) che permette all'operatore di visualizzare la postazione virtuale; una tuta per il tracciamento dei movimenti, dotata di una serie di marcatori riflettenti sferici i quali replicano lo scheletro umano e permettono al software di catturare le posizioni dell'operatore; due guanti monocromatici per il rilevamento delle mani e che permettono di registrare le interazioni con gli oggetti fisici del prototipo. La scena che visualizza l'operatore è virtuale, tuttavia egli può interagire con dei prototipi fisici che permettono un feedback tattile; questi prototipi possono essere di due tipi: supporti fissi che rappresentano la postazione, il piano di lavoro o i macchinari con cui l'operatore deve interagire, e oggetti che l'operatore può muovere e manipolare, che rappresentano gli strumenti della postazione reale. Questi oggetti riproducono le fattezze degli strumenti reali, in termini di peso, dimensioni e forma, permettendo all'operatore di replicare gli effettivi movimenti che compierebbe nella realtà; sono inoltre dotati di marcatori, come la tuta, in modo tale che il software possa registrare l'interazione tra l'operatore e tali oggetti.

Nei sistemi MR la preparazione del set-up virtuale richiede molto tempo e degli operatori specializzati per progettare la postazione virtuale, impostare i vari parametri ed eseguire una simulazione efficace. L'utilizzo dei sistemi di tracciamento permette di ridurre notevolmente i tempi di progettazione e migliora il realismo della simulazione.

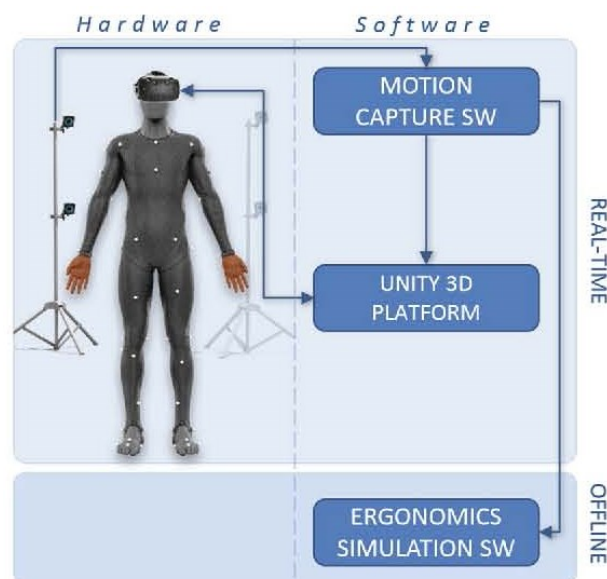


Figura 3.1 – Struttura del sistema Mixed reality tratta da Barbieri et al. (2020)

L'analisi ergonomica delle postazioni di lavoro attraverso i sistemi MR si sviluppa in due fasi. Nella prima fase avviene la simulazione in tempo reale, il software di tracciamento registra i movimenti e le posture eseguiti dall'operatore. La seconda fase è la valutazione dei dati offline, si analizzano i dati raccolti e le prestazioni dell'operatore e si esegue l'analisi ergonomica della postazione. Si identificano i tipi di movimenti e le aree del corpo interessate (ad esempio compiti ripetitivi, parte superiore, carichi pesanti, ecc.) e si decidono gli indici da utilizzare. A seguito della valutazione ergonomica si modifica la postazione di lavoro in base ai risultati degli indici ottenuti (Tabella 3.5), se l'indice rileva l'esistenza di un possibile rischio per la salute dell'operatore bisogna modificare la postazione e ricominciare da capo la simulazione. Ogni volta che il progetto della postazione viene modificato bisogna eseguire nuovamente la simulazione a partire dalla fase uno di registrazione dei dati, si persegue in questo modo finché la simulazione non fornisce dei risultati soddisfacenti. La capacità di tener conto dei risultati del sistema per modificare le caratteristiche del sistema stesso è chiamata retroazione o retroregolazione, ed è tipica dei sistemi dinamici.

| CAMPO DI APPLICAZIONE  | INDICE                | RISCHIO TRASCURABILE | RISCHIO BASSO          | RISCHIO MEDIO-ALTO |
|--|-----------------------|----------------------|------------------------|--------------------|
| Posture di tutto il corpo  | <b>OWAS</b>           | $100 < OWAS < 200$   | $200 < OWAS < 300$     | $OWAS > 300$       |
| Posture parte superiore del corpo                                      | <b>RULA</b>           | $RULA = 1 - 2$       | $RULA = 3 - 4$         | $RULA > 5$         |
| Posture di tutto il corpo considerando i cambiamenti veloci di postura | <b>REBA</b>           | $REBA = 1$           | $REBA = 2 - 3$         | $REBA > 5$         |
| Movimenti ripetitivi parte superiore del corpo                         | <b>STRAIN INDEX</b>   | $INDICE < 3$         | $3 < INDICE < 7$       | $INDICE > 7$       |
| Movimenti ripetitivi di tutto il corpo                                 | <b>OCRA</b>           | $OCRA < 2,2$         | $2,2 < OCRA < 3,6$     | $OCRA > 3,6$       |
| Sollevamento o abbassamento dei carichi pesanti                        | <b>NIOSH</b>          | $LI < 0,85$          | $0,85 < LI < 1$        | $LI > 1$           |
| Azioni di traino, spinta o trasporto in piano                          | <b>SNOOK CIRIELLO</b> | $INDICE = 0,75$      | $0,75 < INDICE < 1,25$ | $INDICE > 1,25$    |

Tabella 3.5 - Tabella indici ergonomici

Dopo aver ottenuto una simulazione che fornisce un'analisi ergonomica positiva, con dei valori degli indici adeguati per la sicurezza e il benessere degli operatori, si può procedere con la realizzazione del progetto finale della postazione di lavoro.





# 4

## CASI STUDIO

---

Nei capitoli precedenti sono stati discussi ed analizzati i principali aspetti dello studio dell'ergonomia delle postazioni di lavoro. È stata presentata un'analisi delle caratteristiche dello studio del layout, sono stati illustrati i vari indici che possono essere utilizzati nell'analisi ergonomica, e infine è stato esposto un metodo sistematico per la progettazione delle postazioni di lavoro.

In questo capitolo si tratteranno alcuni casi studio che mostrano come vengono utilizzati gli indici ergonomici per la progettazione delle postazioni di lavoro.

### PRIMO CASO STUDIO

---

Il primo caso studio tratto da Cimino e Mirabelli (2011) riguarda la riprogettazione di due postazioni di lavoro differenti, tramite l'utilizzo dei metodi OWAS e NIOSH. Lo stabilimento industriale in questione produce ghiera, raccordi e tubi oleodinamici ad alta pressione; da un'analisi preliminare emerge che le postazioni di scuoiatura e assemblaggio sono caratterizzate da diversi problemi ergonomici oltre che da bassi livelli di produttività. Risulta quindi necessaria una riprogettazione delle postazioni di lavoro, da un lato, per la tutela della salute dei lavoratori, dall'altro, per aumentarne la produttività e, a sua volta, quella degli impianti industriali.

Il primo passo di questa ricerca è stato lo sviluppo del modello di simulazione delle postazioni di lavoro esistenti. Dopo la validazione del modello di simulazione, sono stati realizzati gli standard ergonomici per la valutazione del livello di rischio ergonomico che affligge le postazioni di lavoro e sono stati utilizzati gli strumenti di

misurazione del lavoro per il calcolo del tempo relativo a ciascuna operazione svolta all'interno delle postazioni di scuoiatura e assemblaggio.

L'analisi ergonomica è stata effettuata tramite l'utilizzo di diversi standard ergonomici tra cui il metodo NIOSH, utilizzato per valutare la movimentazione manuale dei carichi, e il metodo OWAS, per l'analisi delle posture di lavoro. Le postazioni di scuoiatura e di assemblaggio non richiedono attività di sollevamento di carichi pesanti, pertanto l'analisi tramite metodo NIOSH non ha evidenziato particolari problemi. Sono stati ottenuti, invece, risultati significativi in termini di posture di lavoro scomode. L'analisi OWAS ha assegnato un livello di categoria 3 (Vedi Tabella 2.7), ad entrambe le postazioni, evidenziando un certo rischio per la postura del corpo; in particolare l'analisi ha evidenziato che la parte del corpo più colpita è la schiena dei lavoratori, per entrambe le postazioni.

Sono state identificate le operazioni che costituiscono un rischio per la salute dell'operatore.

Nella postazione di scuoiatura sono:

- Prelevare manualmente un tubo di gomma posto su un pallet alto 15 cm prima dell'operazione di spellatura.
- Mettere un tubo di gomma su un contenitore posto su un carrello manuale e alto 30 cm dopo l'operazione di spellatura.

Nella postazione di assemblaggio sono:

- Prelevare manualmente un tubo di gomma posto su un pallet alto 15 cm prima dell'operazione di montaggio.
- Spostare dei tubi idraulici assemblati su un pallet situato su un carrello manuale alto 30 cm dopo l'operazione di assemblaggio.

Nella riprogettazione delle postazioni, quindi ci si è concentrati nel modificare le operazioni sopra citate, per ridurre il rischio di lesioni all'apparato muscolo-scheletrico.

Il passo successivo è stato il raggiungimento del design efficace delle postazioni di lavoro. In particolare è stato utilizzato un modello di simulazione per confrontare diverse configurazioni alternative. Ogni configurazione della postazione di lavoro è stata ricreata all'interno del modello di simulazione e poi tutte le configurazioni sono

state confrontate mediante indici ergonomici e temporali relativi agli standard ergonomici e agli strumenti di misurazione del lavoro utilizzati in questa ricerca. Tale confronto consente di scegliere le configurazioni finali delle postazioni di lavoro.

Per quanto riguarda la postazione di scuoiamento è stato proposto l'utilizzo di un carrello manuale in sostituzione al pallet utilizzato per posizionare i tubi di gomma prima delle operazioni di spellatura. Questa modifica permette agli operatori di evitare la continua flessione per il prelievo dei tubi di gomma, riducendo il rischio di lesioni alla schiena. Il carrello manuale per la movimentazione dei tubi di gomma spellati alla postazione successiva, è stato sostituito da un trasportatore manuale.

Le modifiche alla postazione di lavoro sono state testate mediante il modello di simulazione valutando i livelli di rischio ergonomico e il tempo necessario per eseguire le operazioni di scuoiamento all'interno della nuova configurazione. La nuova postazione di scuoiatura non presenta alcun problema ergonomico e la produttività è migliorata del 56%.

Nella postazione di montaggio il pallet utilizzato per posizionare i tubi di gomma prima delle operazioni di assemblaggio è stato sostituito da un tavolo di lavoro, permettendo agli operatori di evitare la continua flessione per il prelievo dei tubi di gomma. Un carrello manuale sostituisce il pallet utilizzato per il posizionamento dei tubi idraulici ad alta pressione dopo le operazioni di montaggio.

Anche queste modifiche sono state testate tramite il modello di simulazione ed è risultato che la nuova postazione di assemblaggio non presenta alcun problema ergonomico e la produttività è migliorata del 55%.

In conclusione l'analisi tramite gli indici ergonomici ha evidenziato i problemi concernenti le postazioni, permettendo di modificare in modo efficace le postazioni, focalizzando la riprogettazione solo sulle operazioni che costituivano un rischio ed evitando di dover fare una progettazione ex-novo.

## SECONDO CASO STUDIO

---

Il secondo caso studio riguarda la progettazione di una postazione di assemblaggio collaborativa, tratto da Gualtieri et al. (2020), utilizzando i metodi OCRA e RULA .

L'azienda ELVEZ produce cablaggi e vuole trasformare una postazione di lavoro manuale per l'assemblaggio dei cablaggi in una postazione collaborativa. Come nel caso precedente la progettazione non è ex novo, ma parte da una esistente.

Per progettare la nuova postazione collaborativa, considerando l'ergonomia fisica e l'efficienza produttiva come principali obiettivi di conversione, sono stati applicati i seguenti passaggi:

1. Analisi della situazione attuale in termini di ergonomia fisica
2. Valutazione delle potenzialità della robotica collaborativa
3. Riprogettazione della postazione di lavoro per l'ergonomia fisica e il miglioramento dell'efficienza produttiva.

L'analisi ergonomica è stata svolta utilizzando i metodi: NIOSH, per il valutare il sollevamento manuale di oggetti, il metodo OCRA per individuare i compiti ripetitivi e il metodo RULA per valutare le posture di lavoro. Innanzitutto sono stati analizzati i compiti eseguiti nella postazione manuale; le attività di assemblaggio non prevedono il sollevamento o l'abbassamento manuale di oggetti di 3 kg o più, pertanto non è necessaria l'analisi tramite il metodo NIOSH; bisogna, invece, effettuare l'analisi con i metodi OCRA e RULA giacché sono presenti compiti ripetitivi e posture di lavoro scomode. Nella Tabella 4.1 sono riportati i compiti svolti nella postazione di assemblaggio manuale e i tempi medi per ciascuno di essi.

| <b>Numero</b>                       | <b>Compito</b>                      | <b>Tempo medio attività (s)</b> |
|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| 1                                   | Prendere il 1° cablaggio            | 2                               |
| 2                                   | Posizionare il 1° cablaggio         | 1                               |
| 3                                   | Prendere il 2° cablaggio            | 3                               |
| 4                                   | Posizionare il 2° cablaggio         | 3                               |
| 5                                   | Regolare 1° e 2° cablaggio          | 2                               |
| 6                                   | Prendere la pistola a nastro        | 2                               |
| 7                                   | Eseguire 1 <sup>a</sup> sigillatura | 1                               |
| 8                                   | Posare la pistola a nastro          | 1                               |
| 9                                   | Prendere il 3° cablaggio            | 3                               |
| 10                                  | Posizionare il 3° cablaggio         | 5                               |
| 11                                  | Prendere la pistola a nastro        | 2                               |
| 12                                  | Eseguire 2 <sup>a</sup> sigillatura | 10                              |
| 13                                  | Eseguire 3 <sup>a</sup> sigillatura |                                 |
| 14                                  | Eseguire 4 <sup>a</sup> sigillatura |                                 |
| 15                                  | Eseguire 5 <sup>a</sup> sigillatura |                                 |
| 16                                  | Eseguire 6 <sup>a</sup> sigillatura |                                 |
| 17                                  | Eseguire 7 <sup>a</sup> sigillatura |                                 |
| 18                                  | Posare la pistola a nastro          | 1                               |
| 19                                  | Immagazzinare i cablaggi            | 1                               |
| <b>Tempo totale di assemblaggio</b> |                                     | <b>40</b>                       |

Tabella 4.1 - Passaggi processo di assemblaggio tratto da Gualtieri et al. (2021)

L'analisi degli effetti forniti dalla movimentazione manuale di carichi bassi ad alta frequenza è stata eseguita utilizzando il metodo OCRA. Le variabili richieste dal metodo OCRA per la valutazione del sovraccarico biomeccanico sono riportate nella Tabella 4.2 insieme alle motivazioni di tali scelte; nella tabella è riportata anche la stima finale del valore di rischio della postazione di lavoro: 1.58, che equivale a un rischio "medio" (come riportato nella Tabella 2.18).

| Moltiplicatore                           | Valore parte destra | Valore parte sinistra | Motivazione  |
|--|---------------------|-----------------------|--|
| Moltiplicatore di recupero               | 1.33                |                       | Il turno (8h) è intervallato da una pausa (1h). Di conseguenza, l'operatore lavora per 4 ore senza un periodo di recupero  |
| Costante di frequenza (azioni dinamiche) | 4                   | 4                     | I movimenti delle braccia sono rapidi (~40 azioni/min), le interruzioni sono poco frequenti e irregolari.  |
| Costante di frequenza (azioni statiche)  | 4.5                 | 4.5                   | L'operatore maneggia la pistola a nastro e i cavi per tutto il ciclo di assemblaggio (c'è sfregamento per oltre l'80% del tempo sia per la mano destra che per quella sinistra). |
| Moltiplicatore di posture e movimenti    | Spalla              | 6                     | I movimenti e le relative posture sono stati studiati secondo le linee guida fornite nella check list.   |
|  | Gomito              | 2                     |  |
|  | Polso               | 0                     |  |
|  | Mano                | 8                     |  |
| Stereotipo                               | 0                   | 0                     | Nessuno stereotipo.  |
| Punteggio di fattori aggiuntivi          | 0                   | 0                     | Nessun fattore aggiuntivo.   |
| Moltiplicatore per la durata netta       | 0.95                |                       | La durata netta totale delle attività ripetitive è stata stimata in 361-420 min/ turno, tenendo conto delle interruzioni non pianificate che possono verificarsi.                |
| Valori finali della check-list           | 1.58                | 1.58                  | Arancione  |
| Stima finale del rischio                 | Medio               | Medio                 |  |

Tabella 4.2 - Variabili e punteggi con metodo OCRA tratto da Gualtieri et al. (2021)

L'analisi tramite il metodo OCRA ha riscontrato che i maggiori problemi tecnici sono legati alla frequenza statica delle azioni (valore 4.5 per entrambi i lati), e alle posture scorrette, in particolare delle mani (valore 8 per entrambi i lati); pertanto la riprogettazione ergonomica della postazione di assemblaggio si è concentrata sugli aspetti tecnici di questi due moltiplicatori.

L'analisi con il metodo RULA è stata svolta per ogni compito della Tabella 4.1, per determinare quali compiti dell'intero ciclo di assemblaggio sono meno adatti dal punto di vista posturale.

Nella Tabella 4.3 sono riassunti i valori finali dell'analisi RULA. Dall'analisi è emerso che tutti i compiti analizzati, eccetto i compiti 2, 9 e 18, possiedono dei valori estremamente alti dell'indice, pertanto tutti questi compiti necessitano di importanti miglioramenti in termini di posture di lavoro. Questo potrebbe essere ottenuto riprogettando gli spazi di lavoro in modo più ergonomico e aggiungendo un robot collaborativo per svolgere i compiti più stressanti.

| <b>Numero</b>                              | <b>Compito</b>                      | <b>Valore sinistro</b> | <b>Valore destro</b> |
|--|-------------------------------------|------------------------|----------------------|
| 1  | Prendere il 1° cablaggio            | 5                      | 4                    |
| 2  | Posizionare il 1° cablaggio         | 3                      | 3                    |
| 3  | Prendere il 2° cablaggio            | 5                      | 6                    |
| 4  | Posizionare il 2° cablaggio         | 6                      | 7                    |
| 5  | Regolare 1° e 2° cablaggio          | 6                      | 7                    |
| 6  | Prendere la pistola a nastro        | 5                      | 5                    |
| 7  | Eseguire 1 <sup>a</sup> sigillatura | 6                      | 7                    |
| 8  | Posare la pistola a nastro          | 6                      | 5                    |
| 9  | Prendere il 3° cablaggio            | 4                      | 4                    |
| 10   | Posizionare il 3° cablaggio         | 6                      | 7                    |
| 11   | Prendere la pistola a nastro        | 5                      | 5                    |
| 12   | Eseguire 2 <sup>a</sup> sigillatura | 6                      | 7                    |
| 13   | Eseguire 3 <sup>a</sup> sigillatura | 6                      | 7                    |
| 14   | Eseguire 4 <sup>a</sup> sigillatura | 6                      | 7                    |
| 15   | Eseguire 5 <sup>a</sup> sigillatura | 6                      | 7                    |
| 16   | Eseguire 6 <sup>a</sup> sigillatura | 6                      | 7                    |
| 17   | Eseguire 7 <sup>a</sup> sigillatura | 5                      | 7                    |
| 18   | Posare la pistola a nastro          | 3                      | 3                    |
| 19   | Immagazzinare i cablaggi            | 6                      | 7                    |
| <b>Valori massimi (valori complessivi)</b> |                                     | <b>6</b>               | <b>7</b>             |

Tabella 4.3 - Valori finali dell'analisi RULA tratto da Gualtieri et al. (2021)

Successivamente è stata svolta l'analisi per valutare l'introduzione di un robot collaborativo, il punteggio più alto in termini di potenzialità per i robot collaborativi è stato quello dei compiti di presa della pistola a nastro e sigillatura, che sono quelli che maggiormente contribuiscono al sovraccarico biomeccanico per l'operatore. Pertanto la postazione di assemblaggio manuale è stata riprogettata introducendo un robot collaborativo a supporto dell'operaio nelle sigillature.

In seguito è stato creato un prototipo della postazione riprogettata e sono stati eseguiti dei test di assemblaggio su di esso, al fine di valutare sperimentalmente i miglioramenti dell'ergonomia fisica e dell'efficienza produttiva della soluzione proposta.

L'analisi tramite il metodo OCRA effettuata sulla nuova postazione mostra un miglioramento nelle condizioni di lavoro dell'operatore in termini di movimentazioni manuali. I valori complessivi sono stati ridotti del 12,0% per la parte destra e del 28% per la parte sinistra; in particolare, gli indici finali sono passati da 1.58 a 1.39 per il lato

destro e da 1.58 a 1.14 per il lato sinistro. Questa riduzione fornirà importanti benefici in termini di sovraccarico biomeccanico legato alle movimentazioni manuali.

L'analisi tramite il metodo RULA riporta dei valori per diverse parti del corpo inferiori a quelli della postazione di lavoro manuale. Le posture dell'operatore sono state notevolmente migliorate nella nuova postazione di lavoro. I valori complessivi della postazione sono stati ridotti del 50% per la parte sinistra e del 57% per la parte destra; in particolare sono passati da 6 a 3 per il lato sinistro e da 7 a 3 per il lato destro. Questa riduzione fornirà importanti benefici in termini di posture di lavoro.

In conclusione, come nel caso precedente, l'analisi tramite i metodi ergonomici ha evidenziato le criticità della postazione di assemblaggio, permettendo di modificare la postazione in modo efficace; ha inoltre semplificato l'analisi sul potenziale dei robot collaborativi, individuando i compiti più gravosi per l'operatore che possono essere eseguiti dal robot.

## CONFRONTO TRA I DUE CASI

---

Per effettuare l'analisi ergonomica i due casi studio hanno utilizzato indici diversi poiché ogni metodo ha il proprio campo di applicazione e di conseguenza sono utilizzati gli indici più pertinenti. Nel primo caso, infatti, sono stati utilizzati i metodi NIOSH e OWAS per la presenza di movimentazioni manuali di carichi e di possibili posture incongrue di tutto il corpo; il secondo caso, invece, non presentava movimentazioni manuali pertanto non è stato utilizzato il metodo NIOSH, erano tuttavia presenti compiti ripetitivi e possibili posture incongrue per la parte superiore del corpo pertanto sono stati utilizzati rispettivamente i metodi OCRA e RULA.

Un fattore importante che si ricava da entrambi i casi è l'utilizzo degli indici non solo prima della riprogettazione della workstation, ma anche dopo. Questo è necessario per due motivi, il primo è per garantire che non siano state create nuove situazioni potenzialmente rischiose per l'operatore; il secondo motivo è che in questo modo è possibile confrontare la nuova postazione con la vecchia, individuando l'effettivo miglioramento del layout.



# 5

## CONCLUSIONI

---

In questo testo sono state presentate le linee guida per lo svolgimento dello studio del layout sulle postazioni di lavoro, volto a garantire il benessere dell'operatore, attraverso l'utilizzo di indici ergonomici. Il benessere dell'operatore può influenzare notevolmente la produttività dell'azienda, è quindi nell'interesse di quest'ultima garantire che le postazioni di lavoro siano sicure e comode.

Nello studio del layout ci si è basati su due argomenti principali: gli indici ergonomici e il dimensionamento della workstation.

Nella prima parte sono stati presentati gli indici ergonomici più utilizzati: Scala Borg, indice OWAS, indice RULA, indice REBA, STRAIN INDEX, indice OCRA, NIOSH, metodo Snook e Ciriello. Sono stati descritti i campi di applicazione di ciascun indice e come ricavare il valore dell'indice a partire dall'osservazione dell'operatore, utilizzando le relative tabelle riportate nel documento. Per ogni indice è stata riportata una tabella riassuntiva in cui veniva indicata la presenza o meno di rischio associati al valore dell'indice, e i conseguenti interventi da fare. In generale tutti gli indici hanno presentato tre (o più) fasce di rischio: assenza di rischio, rischio moderato e rischio elevato.

Nella seconda fase è stato illustrato un approccio sistematico alla progettazione della workstation. Sono state approfondite le cinque fasi del metodo: raccolta delle informazioni necessarie per la progettazione, identificazione della popolazione di utenti appropriata, determinazione delle dimensioni della workstation, realizzazione del modello e revisione attraverso simulazione per eventuali modifiche e realizzazione di un prototipo. In particolare sono stati presentati diversi approcci alla simulazione, e il

sistema Mixed Reality è risultato essere il più efficiente per la progettazione delle postazioni di lavoro.

Infine sono stati esposti dei casi applicativi sulla progettazione di due postazioni di assemblaggio. I casi studio hanno illustrato l'utilizzo degli indici ergonomici in fase di riprogettazione, dimostrandone l'importanza e l'efficacia. Nella Tabella 5.1 sono riassunte le criticità, i metodi di analisi e i vantaggi ottenuti a seguito della riprogettazione nei due casi studio.

| <b>Caso</b> | <b>Criticità</b>  | <b>Metodo di analisi</b> | <b>Vantaggi ottenuti</b>  |
|-------------|---|--------------------------|---|
| 1           | Posture di lavoro scomode                               | OWAS                     | Risolti i problemi ergonomici<br>Aumentata la produttività del 55%                        |
| 2           | Compiti ripetitivi                                      | OCRA                     | Riduzione dell'indice del 12 % per la parte destra e 28 % per la parte sinistra del corpo |
|             | Posture di lavoro scomode per parte superiore del corpo | RULA                     | Riduzione dell'indice 57% per la parte destra e 50% per la parte sinistra del corpo       |

Tabella 5.1 – Tabella riassuntiva casi studio

Per garantire una maggiore produttività degli operatori è importante tutelarne la salute e il benessere, fornendo adeguate postazioni di lavoro, per questo motivo lo studio del layout delle workstation risulta fondamentale e l'utilizzo degli indici ergonomici costituisce lo strumento ideale per la valutazione del rischio per la salute gli operatori.

# 6 BIBLIOGRAFIA

---

- Bruno, F., Barbieri, L., & Muzzupappa, M. (2020). A Mixed Reality system for the ergonomic assessment of industrial workstations. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 14(3), 805-812.
- Cimino, A., & Mirabelli, G. (2011). Industrial workstations design: a real case study. *International Journal of Simulation and Process Modelling*, 6(4), 261-273.
- Das, B., & Sengupta, A. K. (1996). Industrial workstation design: a systematic ergonomics approach. *Applied ergonomics*, 27(3), 157-163.
- D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81. Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro
- DI BORG, U. D. S. LE SCALE DI VALUTAZIONE DI BORG.
- EDILIZIA, V. D. C. P. I., SU, E. A. D. M. O., & DI, U. G. Metodo OWAS.
- Gualtieri, L., Palomba, I., Merati, F. A., Rauch, E., & Vidoni, R. (2020). Design of human-centered collaborative assembly workstations for the improvement of operators' physical ergonomics and production efficiency: A case study. *Sustainability*, 12(9), 3606.
- Hignett, S., & McAtamney, L. (2000). Rapid entire body assessment (REBA). *Applied ergonomics*, 31(2), 201-205.
- IEA–International Ergonomics Association. (2019). Definition and Domains of ergonomics.
- Katirae, N., Calzavara, M., Finco, S., Battini, D., & Battaïa, O. (2021). Consideration of workers' differences in production systems modelling and design: State of the art and directions for future research. *International Journal of Production Research*, 59(11), 3237-3268.

MIAN, G., OSSICINI, A., LUISI, F., PISCHIOTTIN, S., & Vecchi Brumatti, L. (2002).  
*Glossario di ergonomia*. F. Marcolin (Ed.). INAIL.

Nappi, F., Caselli, U., Rughi, D., Sarto, D., & Todaro, N. CONOSCERE IL RISCHIO.

Occhipinti, E. (1998). OCRA: a concise index for the assessment of exposure to repetitive movements of the upper limbs. *Ergonomics*, 41(9), 1290-1311.

Zanuttini, R., Cielo, P., & Poncino, D. (2005). Il metodo OWAS. Prime applicazioni nella valutazione del rischio di patologie muscolo-scheletriche nel settore forestale in Italia. *Forest@-Journal of Silviculture and Forest Ecology*, 2(2), 242.

### **Link**

<https://www.inail.it/cs/internet/home.html>

<https://www.liftingindex.com/index.html>

<https://www.samatools.it/Movimentazione-manuale-dei-carichi>

<http://www.unipd-org.it/rls/pericolirischi/Rischi/MMC/Snook%20Ciriello.html>

<http://www.zenomoretti.com/rischi/movripetitivi/rula.htm>