



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Meccanica

**Valutazione dell'ergonomia e della sicurezza nella
collaborazione uomo-robot**

Ergonomics and safety assessment in human-robot collaboration

Relatore:

Prof.ssa Alessandra Papetti

Tesi di Laurea di:

Petrit Shehaj

A.A. 2021 / 2022

Sommario

| | |
|--|-----|
| 1 - INTRODUZIONE | 3 |
| 2 – ROBOTICA COLLABORATIVA | 5 |
| 2.1 - INFORTUNI E MALATTIE PROFESSIONALI..... | 5 |
| 2.2 - CRISI DEMOGRAFICA E PANDEMIA..... | 6 |
| 2.3 - ROBOTICA COLLABORATIVA E TRADIZIONALE | 8 |
| 2.4 - IMPLEMENTAZIONE E COSTO DEI ROBOT..... | 11 |
| 2.5 - ANALISI DI SICUREZZA: VALUTAZIONE DEL RISCHIO | 15 |
| 3 - ERGONOMIA: OCRA, RULA E ANALISI BORG..... | 22 |
| 3.1 – CHECKLIST OCRA..... | 29 |
| 4 – PROGETTAZIONE E SIMULAZIONE DI UNA POSTAZIONE ROBOTICA COLLABORATIVA PER LA LUCIDATURA | 39 |
| 4.1 – LAYOUT E FUNZIONAMENTO POSTAZIONE ATTUALE | 39 |
| 4.2 – SIEMENS, TECNOMATIX PROCESS SIMULATE..... | 48 |
| 4.3 – LAYOUT E SIMULAZIONE DI UNA NUOVA POSTAZIONE..... | 74 |
| 5 – ANALISI DEI RISULTATI..... | 91 |
| 5.1 – RISULTATI SULLA SICUREZZA | 91 |
| 5.2 – RISULTATI ERGONOMICI..... | 112 |
| 6 – CONCLUSIONI..... | 120 |
| 7 – BIBLIOGRAFIA..... | 122 |

1 - INTRODUZIONE

Con il termine rivoluzione industriale, come suggerisce il dizionario Treccani, si fa riferimento alla “trasformazione delle strutture produttive e sociali determinata dall'affermazione di nuove tecnologie”. Questo fenomeno è spesso associato all’Inghilterra della seconda metà del 18° secolo con la nascita della macchina a vapore ad opera di James Watt, ma negli anni si sono distinte diverse rivoluzioni industriali: 1780 la prima, appena citata, determinò una notevole estrazione di carbone destinato alle macchine inventate da Watt; 1870 seconda, con l’utilizzo di elettricità, petrolio e l’avvento del motore a scoppio; dal 1950 la terza, caratterizzata dalla nascita dei computer ed infine la quarta rivoluzione industriale, la più recente della quale si è sentita parlare per la prima volta nel 2013, definita anche industria 4.0. Essa è caratterizzata da una produzione automatizzata ed interconnessa con l’ausilio di robot di ultima generazione, capaci di garantire standard produttivi e qualitativi notevoli. Anche la conduzione dell’azienda assume un nuovo carattere poiché la presenza di questi dispositivi consente una gestione della produzione più flessibile e con la possibilità di adattare i prodotti alle richieste dei clienti, senza stravolgimenti del piano aziendale. I robot possono essere impostati e programmati in modo da adattarsi al ciclo produttivo; sono interconnessi tra loro e alla rete internet, scambiando dati e informazioni che permetteranno ai tecnici l’ottimizzazione dei sistemi attraverso l’analisi dei dati.

L’installazione dei robot non esclude la presenza dell’uomo, lavoreranno a stretto contatto, in maniera sinergica, per garantire un rendimento del reparto il più alto possibile, con l’obiettivo di aumentare la produttività riducendo le operazioni gravose e pericolose per gli operatori.

Freddezza, accuratezza, ripetibilità e velocità vengono garantite dall’automa che però non ha la capacità di rispondere a situazioni impreviste in cui è richiesto spirito critico e talvolta inventiva: ecco alcuni dei motivi per i quali si può affermare che la collaborazione uomo-robot è una soluzione ottimale per far fronte alle richieste di mercato sempre più caratterizzato da tempi ridotti e prodotti customizzati.

La novità portata dalla quarta rivoluzione industriale è data dal fatto che, rispetto alle applicazioni industriali non collaborative, il robot e l’addetto lavoreranno a stretto

contatto condividendo la stessa area di lavoro, in alcuni casi senza la necessità di barriere o protezioni fisiche. Questo non implica che venga meno la sicurezza dell'operatore a supporto della macchina: sarà necessario predisporre il piano di sicurezza durante lo studio del layout della postazione, evitando necessariamente urti o situazioni pericolose per l'uomo. Anche nel caso di situazioni di contatto forze e velocità del dispositivo dovranno essere limitate per evitare danni considerevoli sulla persona.

“L'Ergonomia (o scienza del Fattore Umano) è la disciplina scientifica che studia interazioni tra essere umano e gli altri elementi di un sistema applicando teorie, principi, dati e metodi per progettare allo scopo di migliorare il benessere umano e le prestazioni del sistema”, così è definita dall'Inail questa materia, esplicitamente coinvolta con la presenza di robot collaborativi. Riuscire a minimizzare le attività ripetitive che possono portare, nei casi peggiori, a patologie croniche: la tutela psicofisica della persona è il punto focale.

In questo contesto l'obiettivo della tesi vuole essere la valutazione dell'ergonomia e della sicurezza nella collaborazione uomo-robot di una cella robotica, supportata dall'operatore, destinata alla lucidatura di scarpe nel settore del lusso commissionata da un'azienda calzaturiera marchigiana.

Sarà utilizzato un programma fornito da Siemens, Tecnomatix Process Simulate, che consentirà di creare la nuova postazione di lavoro, rinnovata rispetto quella attuale, in cui verrà inserito il robot con tutti i dispositivi necessari per garantire una collaborazione sicura e secondo le normative. Il software permette di replicare i comportamenti umani all'interno di un contesto industriale: attraverso la simulazione delle azioni dell'uomo sarà possibile capire quali zone del corpo possono essere urtate dagli oggetti circostanti; anche i tempi delle mansioni saranno esplicitati grazie al programma, questo fornirà le basi per un'analisi dei tempi la più veritiera possibile. Con le informazioni ottenute dal software potrò valutare i rischi, seguendo il metodo Pilz, e completare la checklist Ocrà riguardante l'ergonomia.

2 – ROBOTICA COLLABORATIVA

2.1 - INFORTUNI E MALATTIE PROFESSIONALI

Nonostante l'evoluzione tecnologica sia in continuo avanzamento il problema drammatico che coinvolge molti settori lavorativi è dato dagli infortuni, a volte fatali, e dalle malattie professionali. Prendendo come riferimento i dati pubblicati dall'Istat è evidente la criticità della situazione in tutti i settori produttivi, in particolare trasporti, magazzinaggio e industria.

Le generalità che ho considerato si riferiscono solo al primo trimestre del 2022, messo a confronto con i primi 3 mesi di 2021 e 2020. Gli infortuni denunciati entro il 31 marzo 2022 all'Inail sono stati 194.106, incrementandosi del 50,9% rispetto ai 128.671 del primo trimestre del 2021 e del 48,3% rispetto ai 130.905 di gennaio-marzo 2020. Dei 194.106 totali 17.561 sono avvenuti in itinere, dunque durante il tragitto abitazione-lavoro (sia andata che ritorno).

Come accennato il settore più colpito è l'industria (anche per quanto riguarda i casi fatali) che ha fatto registrare 160.813 casi nel 2022 rispetto i 109.662 del 2021, +46,6%; il Sud Italia l'area che primeggia la classifica.

I casi mortali hanno subito un incremento dal 2021 all'anno successivo, sempre nel primo trimestre, di 4 unità passando da 185 a 189 e i morti durante il tragitto sono passati da 31 a 51.

Le malattie professionali hanno seguito lo stesso andamento crescente degli infortuni nel periodo considerato: soffermando l'attenzione ai primi 3 mesi, al 31 marzo 2022 sono state registrate 14.517 denunce, in aumento di 934 casi rispetto al 2021 e di 416 casi rispetto al pari periodo del 2020. Questa volta è l'agricoltura ad aver avuto il primato, l'industria comunque registra un incremento percentuale di 6,4 punti dal 2021 al 2022. Le componenti del sistema osteo-muscolare, del tessuto connettivo, insieme a sistema nervoso e orecchio continuano ad essere le zone più soggette a questi fenomeni gravosi.

La pandemia globale di fine 2019 deve essere citata dal momento che non è ben chiaro il peso specifico che ha avuto nel modificare, indubbiamente in negativo, i dati riportati; il

modo in cui sono state influenzate le percentuali è ancora oggetto di studio, sarà possibile avere una visione più limpida nei prossimi anni.

I circa 2000 infortuni al giorno sul posto di lavoro sono la base di partenza per studiare una postazione, nel mio caso di lucidatura scarpe, con priorità su sicurezza ed ergonomia senza diminuire le calzature/giorno lucidate.

2.2 - CRISI DEMOGRAFICA E PANDEMIA

L'Italia è uno dei primi paesi citati quando si parla di crisi demografica seppure questa tendenza riguardi gran parte d'Europa (e non solo). Non è semplice per le nazioni gestire il caso delle scarse natalità, problema che si ripercuote sull'interno sistema economico dovendo investire percentuali sempre più alte del PIL nel settore pensionistico e sanitario.

L'invecchiamento della popolazione provoca inevitabilmente una diminuzione della forza lavoro: anche in questo contesto *l'implementazione di robot* favorirà la transizione tra chi entra e chi esce nel mondo del lavoro senza intaccare i livelli di produttività.

L'età media europea è in continua crescita facendo registrare il 20% della popolazione (rispetto al totale) con età oltre i 65 anni: l'incremento dal 2011 al 2020 è pari al 3%.

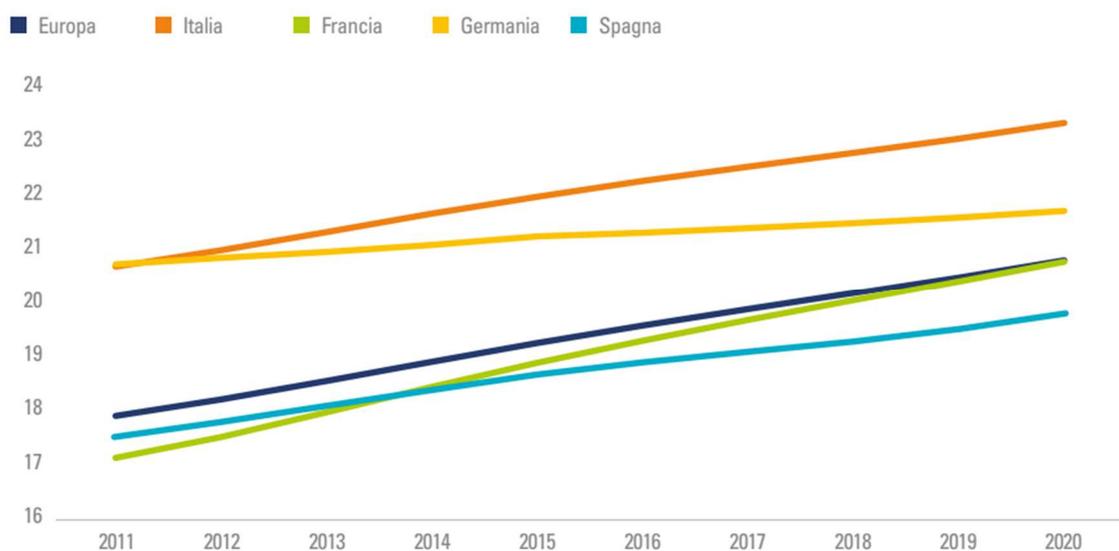


Figura 1 – Percentuale della popolazione, rispetto al totale, con oltre 65 anni di età in Europa, Italia, Francia, Germania, Spagna e Regno Unito (Elaborazione The European House - Ambrosetti su dati Worldbank, 2022).

L'Italia, come mostra figura 1, si trova al di sopra della media con il 23% della popolazione (13,67 milioni di abitanti circa) in età avanzata; anche il dato sugli individui tra gli 0 e i 15 anni è il più basso del continente (12.9% sul totale), numeri allarmanti per il futuro del paese (Elaborazione The European House - Ambrosetti su dati Eurostat, 2022).

La pandemia globale manifestatasi a fine 2019 è uno degli eventi che maggiormente ha condizionato la vita delle persone portando a vivere situazioni di grande squilibrio ed incertezza. Insieme alle due guerre mondiali del secolo scorso è il momento storico più drammatico dell'età recente.

Il Ministero della Salute ha reso noti i numeri degli effetti del virus al 12 aprile '23: 762.791.152 casi confermati nel mondo dall'inizio della pandemia con 6.897.025 morti (www.salute.gov.it).

È profonda l'impronta lasciata sull'economia: i ricercatori di Banca d'Italia affermano che il Covid-19 ha avuto un impatto significativo sull'economia italiana, con un calo del PIL dell'8,9% nel 2020 (L'impatto del Covid-19 sui fallimenti e le uscite dal mercato delle imprese italiane – Banca d'Italia 01/2022).

Le esigenze a cui ha dovuto rispondere il mercato sono cambiate a causa della variazione di domanda provocata dallo stravolgimento delle abitudini in seguito alla diffusione del virus: settori come ristorazione, turismo e altri hanno dovuto destreggiarsi affrontando situazioni mai viste prima, soprattutto le attività con potere finanziario limitato. Discorso diverso per l'e-commerce, online banking, delivery, logistica-trasporti e lavori di magazzino che hanno visto il loro giro di affari incrementarsi, fattore che ha consentito di aumentare gli investimenti su robotica e digitalizzazione. Secondo uno studio del Brookings Institutes, l'automazione cresce repentinamente proprio durante le recessioni. Il colosso americano Amazon è l'azienda che più ha assunto nel primo semestre del 2020 per soddisfare la crescente domanda di prodotti a domicilio. Contemporaneamente sta introducendo nei magazzini robot per trasportare pacchi da un lavoratore all'altro in modo da ridurre la necessità di contatti ravvicinati. Aumentano i profitti di Amazon, aumentano i posti di lavoro, aumenta l'automazione.

Il CEO di Microsoft, Satya Naella, ha affermato di aver assistito a “due anni di trasformazione digitale in appena due mesi”. Nel contesto che ho descritto in questo capitolo posso affermare che pandemia e il

progressivo invecchiamento della popolazione hanno accelerato i processi di digitalizzazione e installazione di robot nelle aziende: da un lato per far fronte all'assenza di offerta di lavoro provocata dalla scarsità di personale e dall'invecchiamento dello stesso, dall'altro per tutelare la salute delle persone evitando i contagi, soprattutto nelle prime fasi di lotta con il virus di cui si conosceva ben poco.

2.3 - ROBOTICA COLLABORATIVA E TRADIZIONALE

Il termine robot comprende al proprio interno una vasta gamma di sistemi automatizzati passando da dispositivi semplici, come un braccio meccanico, a sistemi molto complessi tutti racchiusi in un unico termine. Come suggerisce il report annuale redatto da The European House – Ambrosetti, “Super Smart Society: verso un futuro più sostenibile, resiliente e umano centrico”, non rientrano nella definizione di robot macchine a guida autonoma, droni, aerei senza pilota e il così detto Robot Process Automation (RPA, nonché sistemi di replica dei comportamenti umani da parte di software intelligenti). Le due macrocategorie principali sono rappresentate da robot industriali e robot di servizio (ossia robot che svolge attività utili per gli esseri umani o per le apparecchiature).

È importante specificare la differenza tra robot tradizionali, meno recenti, e *cobot* (*termine che describe robot collaborativi*).

I cobot sono pensati per lavorare a stretto contatto con l'uomo, la loro funzione è supportare l'operatore sostituendolo nelle mansioni con basso valore aggiunto, ripetitive e faticose. Dimensioni e compattezza insieme alla presenza di sensori intrinseci fanno sì che non venga meno la sicurezza per l'operatore: i sensori agiscono fermando il robot quando l'addetto supera distanze di sicurezza prestabilite; anche in caso d'urto la

macchina si ferma evitando la possibilità di rimanere bloccati con le parti mobili.

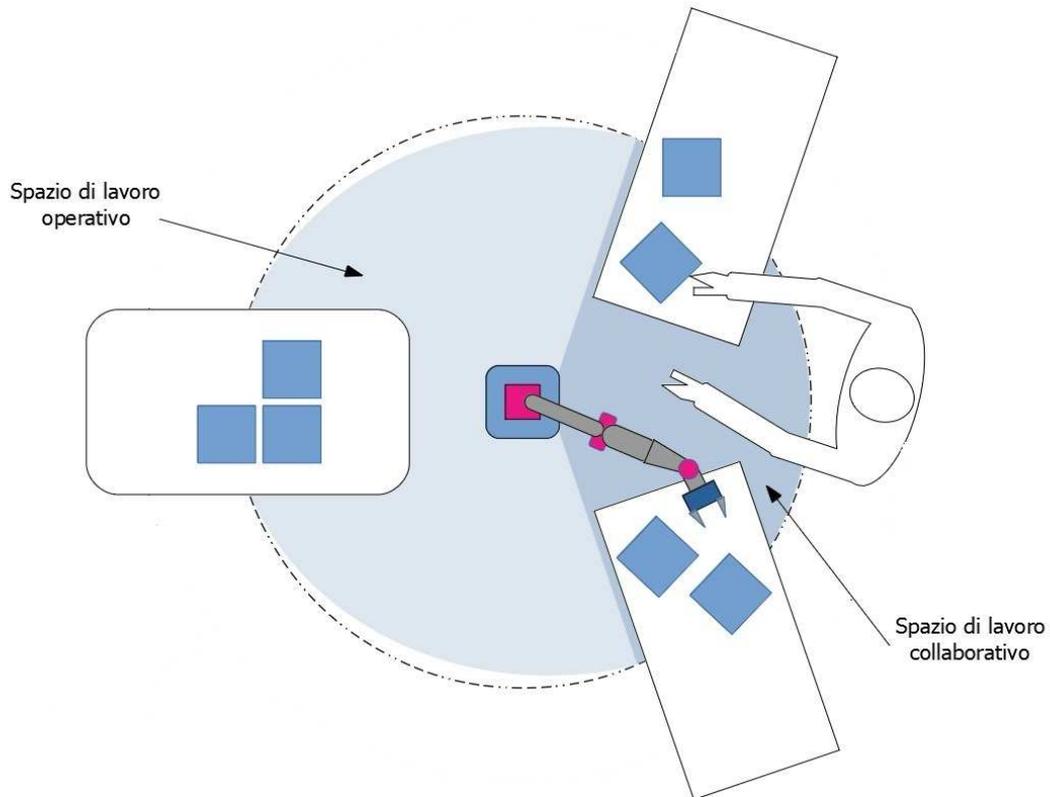


Figura 2 – Rappresentazione schematica degli spazi di lavoro in una cella robotica collaborativa

Altro punto forte dei cobot è la facilità di installazione resa favorevole dalle dimensioni contenute e dalla non necessità di recinzioni o barriere di altro tipo (non sempre è così); dunque, possono essere spostati nei reparti in cui è richiesta l'azione dei dispositivi.

Le possibilità di funzionamento sono diverse dato che all'estremità del braccio robotico possono essere installati tools di vario tipo che permettono di avvitare, prendere oggetti, montare e, nel caso di questa tesi, lucidare scarpe. La macchina è facilmente programmabile e viene controllata con tablet touch intuitivi, ciò implica che il personale

formato dell'azienda è sufficiente per gestirli in sicurezza.

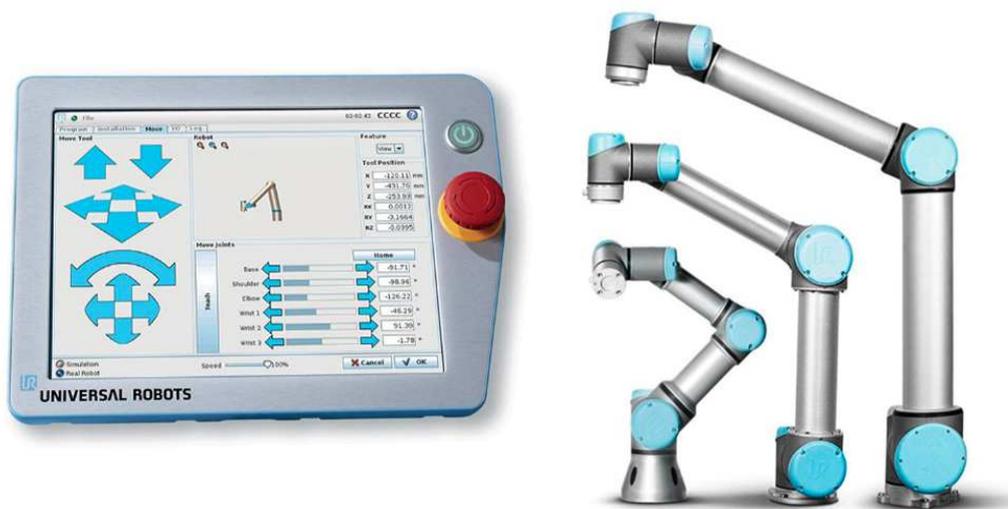


Figura 3 – Robot collaborativi, da sinistra a destra, UR2-5-10 con il tablet di comando

Il costo di queste macchine, analizzato nel capitolo 2.4, insieme ai fattori appena visti rende questa tipologia di dispositivo ideale ed accessibile anche alle piccole e medie imprese (PMI) che hanno disponibilità economiche non sufficienti per automatizzare parte del sistema produttivo.

I robot tradizionali o “classici”, come quelli industriali, non sono sviluppati con l’intento di una collaborazione con l’uomo motivo per il quale, nella maggior parte dei casi, sono chiusi ed isolati in vere e proprie celle oppure recintati rendendone impossibile l’accesso durante il funzionamento: la predisposizione di un piano di valutazione del rischio può essere effettuata anche nelle fasi più avanzate del progetto. Essi possono lavorare ad alte velocità e con grande capacità di carico, sono poco flessibili essendo pensati per soddisfare compiti ben precisi: i volumi di produzione sono elevati consentendo un ritorno sull’investimento (ROI) fruttuoso. Visto il capitale considerevole, proibitivo per le PMI, per immetterli nella catena produttiva queste macchine sono spesso acquistate da aziende con forte potere finanziario.



Figura 4 – Robot antropomorfo, o articolato, ABB con 6 assi isolato all'interno di una gabbia guidato dall'operatore che si trova all'esterno.

2.4 - IMPLEMENTAZIONE E COSTO DEI ROBOT

Sorge spontaneo chiedersi quanto vale il mercato dei robot, quanti ne vengono prodotti, installati e quanto costano. Come sottolineato nel capitolo 2.2, situazioni difficoltose hanno portato ad un aumento delle installazioni robotiche ma vi sono altre cause che hanno spinto questo processo: l'impatto della pandemia sulle abitudini dei consumatori, gli investimenti nelle nuove infrastrutture 5G e gli incentivi stanziati dai Governi (come il fondo NextGenerationEU).

Nel 2021 sono state prodotte 435 mila nuove unità robotiche, con la prospettiva di raggiungere, nel 2024, le 518 mila unità; il solo settore elettrico/elettronico ha registrato 109 mila nuove unità, 4 mila in più rispetto al 2018. Nello specifico il mercato dei robot collaborativi ha subito un incremento di 3 mila unità passando dalle 19 mila, nel 2018, alle 22 mila unità nel 2022 (a livello globale). Tendenza opposta per i dispositivi industriali, il cui commercio ha subito un decremento da 404 mila unità nel 2018 a 362 mila unità nel 2020 (Elaborazione The European House - Ambrosetti su dati International Federation of Robotics, 2022).

Geograficamente l'area Asia-Australia è quella che più si è servita di queste macchine innovative contando 266 mila unità installate nel 2020, numeri molto superiori rispetto a Europa e Americhe che contano rispettivamente 68 mila e 39 mila unità.

È interessante analizzare come varia la **densità robotica** di nazione in nazione: *questo parametro indica il numero di unità robotiche presenti nel settore manifatturiero ogni 10.000 lavoratori.*



Figura 5 - Indice di densità robotica per Paese, 2020 (The European House - Ambrosetti su dati International Federation of Robotics, 2022).

La Corea del Sud, con 932 robot ogni 10 mila lavoratori, svetta in classifica rappresentando di fatto uno dei paesi più tecnologicamente avanzati; l'Italia, undicesima, si trova al di sopra del valore medio corrisponde a 126 unità (Elaborazione The European House - Ambrosetti su dati International Federation of Robotics, 2022).

Gli esperti del settore, che si interfacciano al mondo dei robot quotidianamente, sono in grado di riconoscere la tipologia di robot, ma non è semplice dedurre il costo certamente influenzato dalle variazioni di mercato e da altri fattori. Ritengo necessario specificare i prezzi medi di questi dispositivi e quali sono alcuni dei fattori che possono variarne il costo.

Prendendo in considerazione una tipologia di automa versatile e molto comune, il braccio robotico industriale è definito dalla norma ISO TR/8373-2.3 come "Un manipolatore con più gradi di libertà, governato automaticamente, riprogrammabile". Il numero di gradi di libertà aumenta all'aumentare delle articolazioni rotatorie incluse.

Nella maggior parte dei casi è composto da: controller robotico, attuatori, sensori, sistemi di visione, sistemi di alimentazione e i componenti software.

Per quanto concerne i tipi di braccio robotico essi distinguono in base ai movimenti eseguibili, agli specifici prodotti e ai cicli operativi cui sono impiegati; alcune tipologie sono:

- robot cartesiano, così definito poiché la posizione nello spazio è determinata nel sistema di coordinate cartesiane, è utilizzato per l'assemblaggio, la presa e il posizionamento. È consentita solo la traslazione.
- robot cilindrico, definito nelle coordinate cilindriche, può ruotare e sono consentiti due movimenti lineari permettendo alla macchina di saldare e assemblare.
- robot scara, con quattro gradi di libertà è flessibile e veloce.

Un dispositivo cartesiano a 3 o 4 assi ha una fascia di prezzi che oscilla tra i 30 mila e i 65 mila euro per quelli di bassa gamma, arrivando fino ai 900 mila euro per quelli di alta categoria. Un robot SCARA (Selective Compliant Assembly Robot Arm) ha un prezzo che va dai 15 mila ai 60 mila euro, un articolato a sei assi può sfiorare i 400 mila euro. (<https://industrial-innovation.it>, Braccio robotico industriale, di Karim Medana, 2022)



Figura 6 – Robot cartesiano, definito anche robot a portale o lineare, muove l'utensile lungo gli assi X, Y e Z. Questa specifica macchina è destinata alle lavorazioni di taglio laser (<https://www.kuka.com>).

I cobot hanno prezzi più contenuti: considerando i dispositivi di fabbricazione Universal-Robot il prezzo oscilla fra i 21 mila e i 39 mila e 500 euro. Questa fascia di prezzo però fa riferimento a robot stand alone, cioè senza gli utensili che permettono di automatizzare le azioni (task), quali gripper, accessori, sensori, sistemi di visione e altri. Il costo dei tools che vengono montati all'estremità del robot variano in base al produttore e alla tipologia.

A volte viene richiesta la fabbricazione di un determinato tool (definito anche end effector) destinato ad un'azione specifica, dunque non con elementi da catalogo già presenti sul mercato: è il caso di questa tesi in cui il dispositivo di lucidatura, da assemblare sul robot, è stato appositamente creato. È chiaro che la richiesta di un elemento 'su misura' ha un costo superiore rispetto agli elementi catalogati.



Figura 7 – Esempio di un sistema di presa modulare Plug & Work per cobot Universal Robot (<https://schunk.com>).

L'investimento in questi tipi di robot si riduce al costo del robot e agli eventuali end effector; l'installazione può essere effettuata affidandosi al personale formato interno all'azienda, senza la necessità dell'intervento di professionisti esterni aventi un costo ingente.

Altro fattore di rilevanza assoluta è dato dal fatto che Universal-Robot, afferma con convinzione che il recupero dell'investimento ha un tempo stimato che va dai sei ai dodici mesi. Notevole la differenza con i robot industriali che possono impiegare anni per recuperare il capitale investito. Queste sono solo alcune delle differenze con un robot tradizionale (<https://www.universal-robots.com>, Quanto costa in media un robot collaborativo, di Alessio Cocchi, 2020).

2.5 - ANALISI DI SICUREZZA: VALUTAZIONE DEL RISCHIO

La valutazione del rischio rappresenta un passaggio fondamentale che consente l'utilizzo di robot collaborativi in sicurezza. Nelle applicazioni industriali non collaborative, questo documento viene prodotto in seconda fase poiché la maggior parte dei pericoli sono eliminati da recinzioni e attrezzature di sicurezza. Nel caso di collaborazioni uomo-macchina la valutazione dei rischi dovrà essere considerata *nelle fasi preliminari del progetto di implementazione*, e dovrà essere aggiornato ogni qualvolta il layout della postazione di lavoro, il robot utilizzato o altri elementi verranno modificati: può essere considerato a tutti gli effetti un documento 'live', in continua revisione.

Nati per lavorare a fianco dell'operatore i cobot (a volte) non sono dotati di recinzione, motivo per il quale la possibilità che avvenga un contatto accidentale è concreta.

L'obiettivo principale è quello di progettare la postazione collaborativa mantenendo la sicurezza come punto cardine, rispettando e affidandosi alle direttive e agli standard applicabili come: ISO 12100, EN ISO 13849-1, EN ISO 13849-2, EN ISO10218-2, EN ISO 13850, EN 349 e ISO/TS 15066.

La ISO 10218-2, ad esempio, descrive tre fasi che devono essere seguite nel processo di progettazione per la sicurezza:

- Eliminare i pericoli attraverso la progettazione.
- Attenuare i rischi con ulteriori misure di sicurezza (sensori, forze e velocità controllate, e altro...).
- Formare il personale che supporterà il robot.

Il primo passo nel processo di valutazione del rischio è *l'analisi delle mansioni che svolge l'operatore* insieme al robot, studiando le operazioni che compongono il processo, elencandole per avere una visione più chiara e schematica. Analizzando separatamente le azioni sarà possibile capire quali sono i pericoli riscontrabili, sia nel funzionamento normale che nell'uso scorretto ragionevolmente prevedibile: il progettista dovrà essere in grado di prevedere l'uso non congruo della macchina che porterà a situazioni pericolose, come ad esempio l'inserimento della mano tra pezzo in lavorazione e utensile affilato del robot, oppure avvicinare la testa al pezzo in lavorazione, per il controllo visivo, rischiando di essere urtati dal robot. È fondamentale, nel limite del possibile, capire quali comportamenti scorretti può avere l'operatore collaborando con l'automa.

Il secondo passo prevede di indicati i *limiti della macchina* che descrivono le condizioni e i vincoli sotto i quali il macchinario è destinato a lavorare. Questi limiti sottintendono diversi aspetti che elencherò sinteticamente.

1) Limiti di utilizzo, corretti e scorretti:

- le diverse modalità di funzionamento della macchina e le differenti procedure di intervento da parte degli operatori (uso normale, manutenzione, ripristino a seguito di malfunzionamenti, ecc.);
- l'ambiente di utilizzo della macchina (per esempio, industriale, non industriale, domestico) e le caratteristiche degli utilizzatori (età, sesso, dati antropometrici, ecc.);
- il livello di istruzione degli utilizzatori (ad esempio professionisti o semplici operai);
- esposizione al rischio di persone diverse dagli operatori (altri operatori o altre persone presenti nelle vicinanze della macchina).

2) I limiti spaziali come:

- intervallo di movimento degli elementi mobili della macchina, compresi gli utensili montanti;
- spazio richiesto dalle persone per interagire con la macchina;
- interfaccia della macchina con gli operatori e con le alimentazioni.

3) Limiti temporali, nonché:

- tempo di vita della macchina o di suoi componenti tenendo in considerazione l'uso previsto della macchina e utilizzi scorretti ragionevolmente prevedibili;

- intervalli di manutenzione raccomandati.

4) Altri limiti, tra cui:

- parametri ambientali (temperatura, polvere, umidità, ecc.);
- livello di pulizia dell'ambiente;
- proprietà dei materiali in lavorazione.

In questa fase di descrizione dei vincoli è bene elencare gli elementi interessati quali cobot utilizzato, end effector, pezzo in lavorazione e altre macchine presenti. Per facilitarne la lettura si può porre tutto in tabelle.

Il terzo step prevede *l'identificazione dei pericoli* spesso supportata da modelli CAD, o simulazioni su software, che garantiscono una visione più chiara delle situazioni di contatto che possono verificarsi. Occorre prestare attenzioni a tutti i dispositivi coinvolti, ponendo in particolar modo l'attenzione sugli elementi a portata dell'operatore. Ogni momento di interazione da parte dell'uomo con il cobot (di conseguenza anche con l'end effector) può portare a contatto inatteso; quindi, si genera una situazione pericolosa che dovrà essere studiata.

Anche in questa fase è importante prevedere l'uso scorretto ragionevolmente prevedibile con l'obiettivo di anticipare comportamenti indesiderati e capire come agirà l'operatore in presenza di irregolarità. *Ogni pericolo individuato verrà posto in una tabella* e verrà analizzato singolarmente; quindi, si avrà un numero di tabelle pari al numero di pericoli.

Le norme (esempio la ISO 10218-2) forniscono informazioni sui pericoli generali riscontrabili nell'applicazioni in esame oltre a fornire un elenco di pericoli specifici tipici.

L'identificazione dei pericoli deve essere fatta tenendo conto di tutte le fasi del ciclo di vita del robot come: montaggio, installazione, messa in servizio, uso, messa fuori servizio e smontaggio; per di più devono essere presi in considerazione anche altri pericoli non direttamente associati al cobot quando possono portare a situazioni di rischio, quali, per esempio, eventi sismici, fulmini e forti neviccate.

Il quarto step prevede *la valutazione del rischio*: ad ogni pericolo (precedentemente individuato) verrà assegnato un valore numerico, definito *tasso di pericolosità*, che ne specifichi la gravità. Se si fa riferimento al metodo Pilz questo tasso, o coefficiente, viene definito Pilz Hazard Rating (PHR) poiché si utilizza l'esperienza fornita dai tecnici della

Pilz per determinarlo. Pilz GmbH & Co. KG è un'azienda tedesca che opera nel settore della tecnica di automazione controllo e sicurezza.

Il metodo Pilz prevede di identificare quattro parametri ai quali verranno assegnati delle tariffe standard. Le quattro variabili (con acronimi riferiti all'inglese) sono:

- Grado di danno possibile (DPH)
- Probabilità di verificarsi di eventi di pericolo (PO)
- Possibilità di evitamento (PA)
- Frequenza di esposizione (FE)

La corretta assegnazione dei valori ai parametri, insieme all'individuazione dei pericoli, è la fase che richiede maggior esperienza e formazione.

Determinati i 4 indici, il Pilz Hazard Rating (PHR) si calcola sulla base della seguente formula:

$$PHR = DPH \times PO \times PA \times FE$$

| Grado di possibile danno (DPH) | |
|---------------------------------------|--|
| 0.25 | Graffio / Livido |
| 0.5 | Lacerazione / taglio / lieve effetto di cattiva salute / ustioni minori |
| 3 | Frattura dell'osso minore – dita delle mani, dei piedi |
| 5 | Frattura dell'osso maggiore – mano, braccio, gamba |
| 8 | Perdita di 1 o 2 dita delle mani / piedi o ustioni maggiori |
| 11 | Amputazione gamba/mano, perdita parziale dell'udito o dell'occhio |
| 15 | Amputazione di 2 gambe/mani, perdita totale dell'udito/vista in entrambe le orecchie/occhi |
| 25 | Lesioni critiche o malattia/condizione/lesione permanente |
| 40 | Singola fatalità |
| 65 | Catastrofe |

| Probabilità di verificarsi di eventi pericolosi (PO) | |
|--|-------------------|
| 0.05 | Quasi impossibile |
| 1.25 | Improbabile |
| 2.5 | Possibile |
| 4 | Probabile |
| 6 | Certo |

| Possibilità di evitamento (PA) | |
|--------------------------------|--------------------------------------|
| 0.75 | Possibile |
| 2.5 | Possibile in determinate circostanze |
| 5 | Non possibile |

| Frequenza di esposizione (FE) | |
|-------------------------------|-----------------|
| 0.5 | Annualmente |
| 1 | Mensile |
| 2 | Settimanalmente |
| 3 | Quotidiano |
| 4 | Orario |
| 5 | Costantemente |

| Phr | | Livello di rischio | di | Commento |
|-----|----------|-----------------------|----|---|
| | 1 – 10 | Rischio trascurabile | | Non presenta praticamente alcun rischio per la salute e la sicurezza, non sono necessarie ulteriori misure di riduzione del rischio. |
| | 11 – 20 | Rischio molto basso | | Presenta pochissimi rischi per la salute e la sicurezza, non sono necessarie misure significative di riduzione del rischio, può richiedere l'uso di dispositivi di protezione individuale e/o formazione. |
| | 21 - 45 | Basso rischio | | Il rischio per la salute e la sicurezza è presente, ma basso. Devono essere prese in considerazione misure di riduzione del rischio. |
| | 46 - 160 | Rischio significativo | | Il rischio associato al pericolo è abbastanza sostanziale da richiedere misure di riduzione del rischio. Queste misure dovrebbero essere attuate alla prossima occasione opportuna. |

| | | | |
|--|---------|-----------------------|---|
| | 161-500 | Alto rischio | Pericolo potenzialmente pericoloso, che richiede l'attuazione urgente di misure di riduzione del rischio. |
| | 501+ | Rischio molto elevato | Le misure di riduzione del rischio dovrebbero essere attuate immediatamente, la gestione aziendale dovrebbe essere informata. |

Il Pilz Hazard Rate (PHR) calcolato varia da 1 a 9750, dove 1 è il minimo e 9750 è il rischio più alto. Ecco come si determina la gravità del rischio che permetterà di focalizzare l'attenzione su quei pericoli che sono caratterizzati da un PHR alto.

Come sintesi di questo quarto step si può affermare che determinando i valori da assegnare ai quattro parametri (DPH, PO, PA, FE) si *stima il rischio*; dopodiché, in base al PHR ottenuto, si valuta il rischio stabilendo se esso sia accettabile o meno, con tutte le conseguenze del caso (di seguito illustrate).

L'ultimo step nella valutazione del rischio è la *riduzione del rischio* (oppure eliminazione dei pericoli) come descritto nella clausola 6 della ISO 12100:2010, dove necessaria. Se il rischio studiato genera un PHR maggiore di 10, al di fuori della zona verde, sarà sicuramente necessario predisporre misure di riduzione.

Il rischio può essere ridotto attraverso la progettazione che porterà all'eliminazione del pericolo (cancellare il pericolo implica l'assenza di rischi associati), oppure attuando misure di sicurezza inserendo dispositivi appositi e istruendo gli addetti.

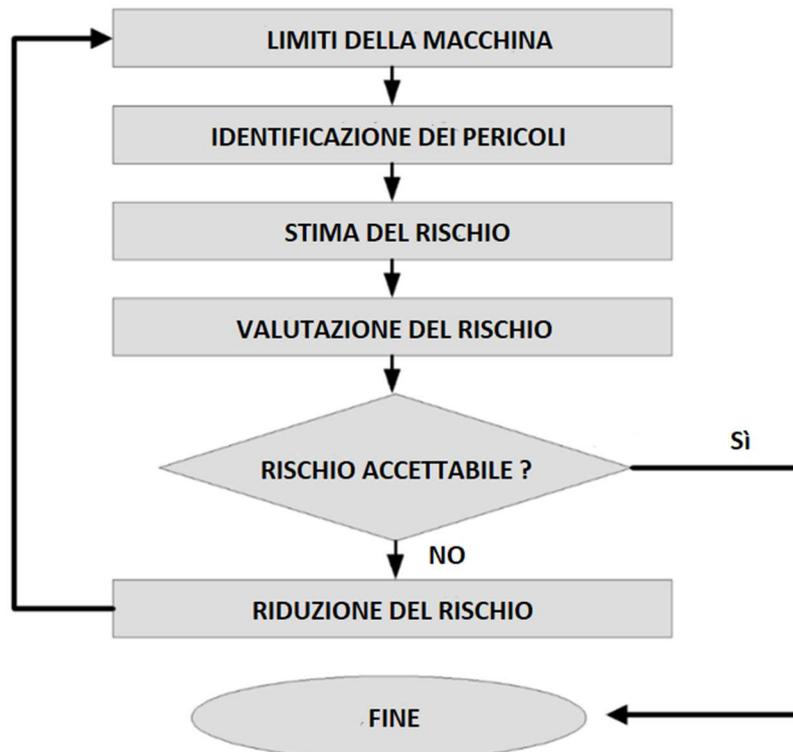


Figura 8 – Esempio di valutazione del rischio con conseguente riduzione dello stesso.

L'applicazione di misure di riduzione del rischio porta a ripercorrere l'intero processo, ripartendo dai limiti della macchina, visto che è importante capire se le misure di protezione adoperate generano nuovi pericoli.

Completata questa parte teorica vi saranno test di accertamento pratici che permetteranno di stabilire se le misure attuate hanno effettivamente raggiunto l'obiettivo prestabilito di riduzione del rischio.

Il contributo della specifica tecnica ISO/TS 15066 è di essenziale importanza nella compilazione di questo documento: consente infatti di stabilisce quali sono i valori limiti di forza e velocità affinché, anche nel caso di urto tra dispositivo e uomo, i danni subiti siano contenuti entro certi limiti stimati. L'approfondimento di questa normativa, e il suo utilizzo, verrà esplicito nel capitolo 5.1.

Produrre una valutazione dei rischi esaustiva non è semplice, richiede esperienza e competenza, motivo per cui vi sono tecnici esterni che si occupano di queste analisi ai quali viene commissionato lo studio di un layout sicuri.

Nel caso di questa tesi, sono stati seguiti gli step elencati facendo riferimento al metodo Pilz per la valutazione dei rischi, anche se vi sono altri metodi a cui riferirsi. Ritengo importante specificare che, essendo la postazione di lavoro personalmente ideata e lavorando in simulazione su software, *alcune informazioni su limiti della macchina, end effector e altro non sono necessarie* (oltre a non essere reperibili). Se lo studio avesse riguardato una postazione esistente tutti i dati sarebbero stati imprescindibili.

3 - ERGONOMIA: OCRA, RULA E ANALISI BORG

Definita nell'ultima parte dell'introduzione l'ergonomia fisica si occupa delle interazioni uomo-macchina-ambiente sotto il profilo meccanico e fisico. In maniera specifica questa materia studia: le posture che gli operatori assumono durante le mansioni svolte nel turno di lavoro; gli sforzi e la movimentazione manuale di carichi (punto critico per l'ergonomia); l'utilizzo di attrezzature pesanti e dannose; gli spazi e il layout della postazione di lavoro.

Il rischio di posture incongrue è associato principalmente alla movimentazione manuale di carichi e alle attività con movimenti ripetitivi e statici. Le zone del corpo più soggette al sovraccarico biomeccanico sono gli arti superiori e il tratto lombo-sacrale (parte bassa della schiena). Questa visione si può ritenere incompleta in quanto non vengono fornite informazioni su attività lavorative che provocano principalmente l'assunzione di posture dannose, con effetti collaterali sulla salute degli addetti al lavoro nel breve e medio/lungo termine.

L'analisi MURI, compiuta da enti internazionali che hanno come traguardo lo studio ergonomico della postazione di lavoro, viene eseguita con l'intento di identificare movimenti standard del corpo umano che permettano di minimizzare la fatica percepita e di aumentare la produttività; l'analisi individua anche posture, movimenti e posizioni ergonomicamente difficili per gli operatori.

In virtù di questa problematica sono stati pensati strumenti e metodi per la valutazione della postura, distinguendo le situazioni dannose e l'entità del danno.

Sono molteplici i metodi a disposizione, in questo caso di studio ritengo necessario l'approfondimento dell'analisi RULA, dell'indice OCRA e della checklist OCRA.

L'analisi RULA, ideata da McAtamney e Corlett della Università di Nottingham nel 1993, è stata sviluppata per determinare le attività lavorative che possono portare traumi agli arti superiori dei lavoratori, prestando attenzione a forze applicate, movimenti statici e ripetitivi. L'applicazione di questo metodo si basa sull'osservazione visiva, da parte di esperti, dell'attività lavorativa durante il turno di lavoro. L'attenzione verrà posta su mansioni e posture con lunga durata e con carico posturale elevato. Il metodo deve essere applicato al lato destro ed al lato sinistro del corpo studiandoli separatamente.

Il RULA divide il corpo in due gruppi, il gruppo A che include gli arti superiori del corpo (braccio, avambraccio, e polso) ed il gruppo B che comprende le gambe e il tronco ed il collo; stabiliti degli assi di riferimento del corpo rispetto ai quali fare le misurazioni, gli angoli formati dai distretti articolari rispetto agli assi stabiliscono un punteggio per ogni zona del corpo. Vi sono comunque tabelle e immagini di esempio con valori di riferimento utili ad assegnare il rating.

Sommando i punteggi per le varie zone del corpo si ottengono valori globali per il gruppo A e B, che verranno in seguito modificati se alla postura oggetto di osservazione è associata anche una forza applicata elevata o vi è un forte coinvolgimento dell'attività muscolare.

A fine analisi si otterrà un totale che varia da 1, valore minimo, a 7, valore massimo. Sulla base del livello di rischio ottenuto sono quattro le zone indicate:

- Zona verde, *livello 1*: Si ha con un punteggio finale pari ad 1 o 2. Indica che la postura è accettabile se non è mantenuta o ripetuta per lunghi periodi.
- Zona gialla, *livello 2*: Si ha con un punteggio finale pari a 3 o 4. Indica che sono necessarie ulteriori osservazioni e che sono richieste delle modifiche.
- Zona rossa, *livello 3*: Si ha con un punteggio finale pari a 5 o 6. Indica che sono necessarie indagini e modifiche in tempi brevi.
- Zona viola, *livello 4*: Si ha con un punteggio finale pari a 7. Indica la necessità di indagini e modifiche immediate.

In questa tesi, volta anche alla valutazione dell'ergonomia dell'operatore che lucida scarpe, non ho fatto riferimento al metodo RULA per determinare il rischio da sovraccarico biomeccanico, ma ritengo opportuno citare questo strumento poiché il

Software Tecnomatix Process Simulate (di cui ho usufruito per questo caso di studio) permette di valutare l'indice RULA e di realizzare documenti di analisi professionali da presentare ai responsabili e ai datori di lavoro. Questo è possibile dotando l'operatore con sensori in diverse zone del corpo (gomiti, spalle, schiena, collo, polsi, ecc.) mentre svolge l'attività lavorativa; inserendo in seguito i dati raccolti dai sensori nel programma, esso sarà in grado di replicare le azioni dell'operatore conferendo come risultato l'indice RULA, senza la necessità di dover analizzare video di come viene svolta l'attività oppure andando direttamente nel luogo di lavoro guardando fisicamente l'operaio che lavora; i tecnici responsabili di valutare il parametro evitano questa fase che richiede accortezza e non sempre sono in grado di attribuire un risultato veritiero. Un esempio è mostrato dalle figure sottostanti: figura 9 mostra un operatore che sta camminando nella postazione di lavoro, ed essendo un'attività "semplice" (ergonomicamente positiva) il RULA corrispondente è di 2 punti, accettabile; figura 10 mostra l'operatore che smonta una scarpa da un supporto, applicando forza, generando un RULA elevato. Sono definiti i valori per entrambi gli arti.

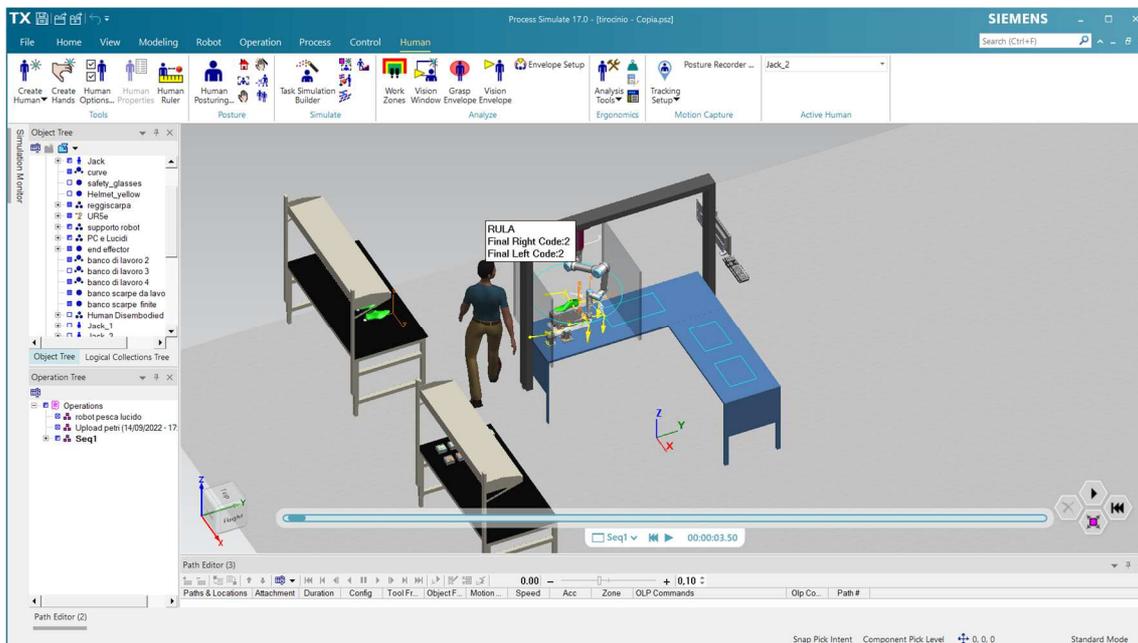


Figura 9 – Esempio di analisi RULA sul programma Process Simulate di Tecnomatix.

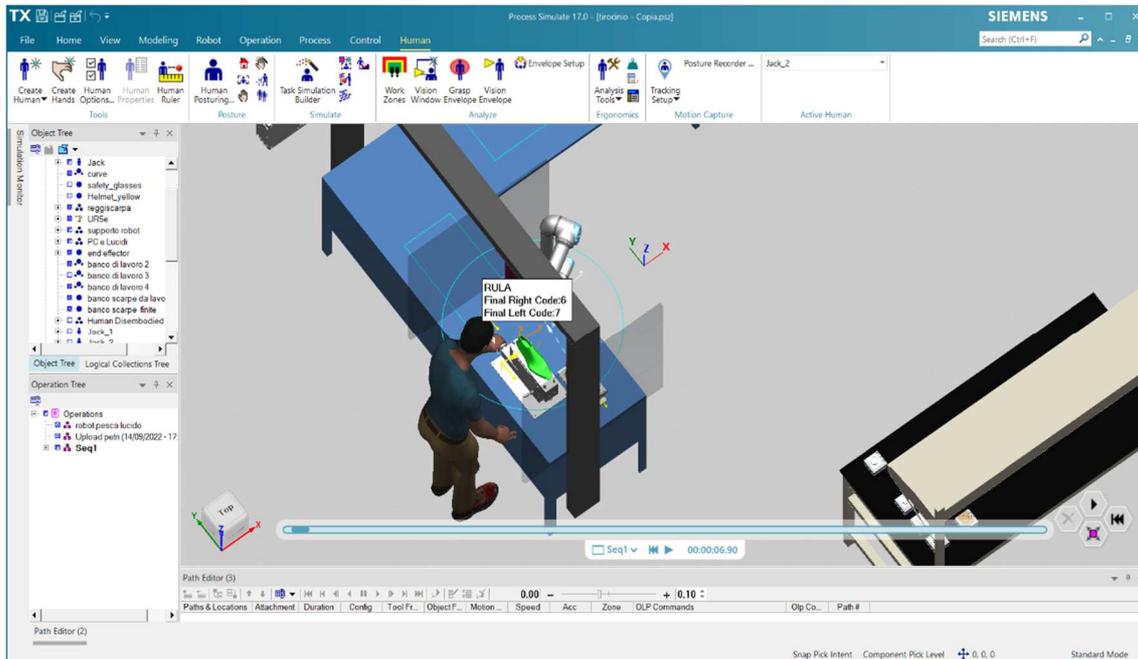


Figura 10 - Esempio di analisi RULA sul programma Process Simulate di Tecnomatix.

Altro metodo è rappresentato dall'OCRA (Occupational Repetitive Action) che ha anch'esso come obiettivo la di valutazione del rischio da sovraccarico biomeccanico determinato dallo svolgimento di movimenti ripetuti degli arti superiori. Lo scopo di questi strumenti è perlopiù comune, cambiano però le visioni e le strategie seguite.

Le normative EN 1005-5 e ISO 11228-3 considerano il metodo OCRA come metodo preferenziale, essendo il più completo e il più versatile, permettendo di raggiungere un ottimo livello di dettaglio e di accuratezza.

Anche in questo caso è necessario l'analisi di filmati che consentiranno di determinare i valori da assegnare ai parametri (frequenza delle azioni, forza applicata, aspetti posturali, entità dei periodi di recupero, ecc.) utili al calcolo dell'indice di rischio.

Per l'applicazione del metodo è importante distinguere le fasi della lavorazione evitando fraintendimenti nella terminologia e stabilendo definizioni di riferimento, rendendo il metodo il più standard possibile. Si distinguono:

- *Azioni tecniche*: non sono i singoli movimenti di una determinata articolazione bensì l'insieme dei movimenti dei diversi distretti articolari che portano al compimento di un'operazione elementare.

- *Cicli*: gruppi di una o più azioni che si ripetono nel tempo uguali a loro stessi.
- *Compiti ripetitivi*: compiti caratterizzati dalla presenza di cicli.
- *Attività lavorativa*: attività costituita da uno o più compiti, ripetitivi o non ripetitivi.

Identificare e distinguere i cicli e le singole azioni, è alla base dell'applicazione del protocollo OCRA, oltre ad un'accurata *analisi dei tempi*.

Noti i termini che compaiono al numeratore e al denominatore dell'equazione l'indice di rischio è espresso dal rapporto:

$$IR = \frac{nATA}{nRTA}$$

Al numeratore **nATA** descrive **il numero di azioni tecniche compiute** nel turno di lavoro.

Al denominatore **nRTA** descrive **il numero di azioni tecniche massime raccomandate**, a sua volta uguale a:

$$nRTA = \sum_{j=1}^n [k_f * (F_{Mj} * P_{Mj} * R_{eMj} * A_{Mj}) * t_j] * (R_{cM} * t_M)$$

Il calcolo di questo coefficiente viene effettuato per mezzo di alcuni parametri dipendenti dall'attività lavorativa svolta, da fattori di rischio generici e possono essere ricavati secondo le indicazioni fornite dalla norma UNI ISO 11228-3. I fattori dell'equazione possono così essere descritti:

- k_f (costante di frequenza) corrisponde al numero massimo di azioni tecniche eseguibili in condizioni ideali (quando tutti gli altri fattori assumono valore unitario) ed è pari a 30 azioni/minuto.
- F_{Mj} (fattore forza) è un numero adimensionale variabile tra 0 e 10 che descrive lo sforzo muscolare applicato, e fa riferimento alla scala Borg.

- P_{Mj} (fattore postura) è un parametro che, per ciascun compito ripetitivo individuato, tiene conto della postura dei distretti articolari degli arti superiori (spalla, gomito, polso e mano) e della durata del suo mantenimento.
- R_{eMj} (compiti ripetitivi) è indicativo della ripetitività dei compiti che costituiscono l'attività lavorativa.
- A_{Mj} (fattori complementari) è una grandezza che rende conto della presenza di eventuali fattori complementari di rischio nell'ambito dei compiti ripetitivi.
- t_j (fattore durata) rappresenta la durata effettiva dei compiti ripetitivi.
- R_{cM} (tempi di recupero) tiene conto della distribuzione e dell'entità dei periodi di recupero.
- t_M (durata) è indicativo della durata complessiva del turno lavorativo.

L'indice OCRA dovrà essere calcolato per ogni arto ed il valore ottenuto rappresenta l'entità del rischio legato al sovraccarico biomeccanico. In base al coefficiente finale ricavato si distinguono diverse zone che specificano le fasce di rischio.

| Fasce di rischio | | |
|------------------|-----------------------------|---|
| OCRA Index | Rischio | Azioni correttive |
| ≤ 2,2 | Rischio accettabile | Nessuna. La valutazione dei rischi dovrebbe comunque essere ripetuta periodicamente |
| 2,3 ÷ 3,5 | Rischio incerto/molto lieve | Ripetere la valutazione del rischio; ridurre il rischio laddove possibile. |
| 3,5 ÷ 4,5 | Rischio lieve | Riduzione del rischio secondo le priorità; sorveglianza sanitaria con visita a periodicità stabilita dal Medico Competente; interventi di informazione/formazione. |
| 4,5 ÷ 9,0 | Rischio medio | Riduzione del rischio a breve scadenza secondo le priorità emerse dal metodo; sorveglianza sanitaria con visita a periodicità annuale o superiore secondo decisione del Medico Competente; interventi di informazione/formazione. |
| > 9,0 | Rischio elevato | Riduzione immediata del rischio; sorveglianza sanitaria con visita a periodicità annuale o inferiore secondo giudizio del Medico Competente; interventi di informazione/formazione. |

Figura 11- Fasce di rischio associate all'indice Ocra.

Ad un occhio inesperto determinare l'indice non sempre risulta agevole, soprattutto considerando i numerosi parametri, inducendo i tecnici a sviluppare una versione semplificata del metodo denominata *checklist OCRA*, sui cui mi sono basato per questa tesi.

Quest'ultimo strumento, schematico ed intuitivo, rappresenta un'ottima alternativa per lo studio ergonomico nella prima fase di analisi della postazione di lavoro, seppure l'indice OCRA rimanga comunque il punto di riferimento (come recitano le normative).

3.1 – CHECKLIST OCRA

La checklist OCRA è composta di *cinque parti* dedicate allo studio dei quattro principali fattori di rischio: carenza dei periodi di recupero, frequenza, forza, posture incongrue e dei fattori complementari (vibrazioni, temperature fredde, lavori di precisione, ecc.); ad ogni termine verrà assegnato un valore (prestabilito) che aumenterà al crescere del rischio. Il valore ottenuto dalla somma dei cinque termini parziali determinerà la fascia di rischio associata alla postazione di lavoro oggetto di indagine.

Le sezioni componenti la checklist verranno analizzate singolarmente per renderne chiara la comprensione e per motivi grafici, date le dimensioni ridotte di alcuni caratteri che sarebbero stati illeggibili se avessi riportato il documento per intero. Anche il punteggio corrispondente ad ogni sezione (a,b,c,d), situato sulla destra, è stato tagliato per adattare le figure alle pagine.

The image shows a screenshot of a web-based form for the OCRA checklist. The title is 'Valutazione automatica dei compiti ripetitivi con checklist OCRA modello tradizionale'. Below the title, it says 'a cura di Daniela Colombini, Enrico Occhipinti, Marco Cerbai - Unità di Ricerca EPM Milano'. The form contains several input fields: 'Azienda', 'Reparto', 'Linea/postazione/compito', 'N. Addetti' (with sub-fields for 'M' and 'F'), and 'Breve descrizione del compito'. At the bottom, there is a green box with the text: 'PRESENZA DI COMPITO RIPETITIVO = il termine non e' sinonimo di presenza di rischio. La checklist va applicata quando il compito e' organizzato a cicli, indipendentemente dalla loro durata, o quando il compito è caratterizzato dalla ripetizione degli stessi'. To the right of this box is a table with two rows: 'SI' and 'NO', each with an empty input field. At the very bottom, there is a small note: 'Se SI compilare le parti successive'.

Figura 12 – prima parte checklist OCRA.

La checklist OCRA ha la finalità di descrivere una postazione di lavoro e di stimare il rischio dell'attività lavorativa svolta nella postazione, considerando quest'ultima l'unica utilizzata nell'arco del turno di otto ore: analizzando una singola collocazione sarà possibile determinare le postazioni di lavoro con un'ergonomia sfavorevole. L'analisi, quindi, non si riferisce al singolo lavoratore ma alla postazione e al suo indice di rischio: in questo modo si riduce notevolmente la soggettività del risultato, cosa non possibile se gli operatori fossero stati i soggetti su cui basare lo studio.

Come mostra figura 12 il modulo da compilare prevede una parte descrittiva del contesto lavorativo specificando: l'azienda, il numero di addetti (distinguendone il sesso), una breve descrizione del compito svolto, il reparto e il compito svolto. La conferma della presenza di compiti ripetitivi porta al completamento della parte successiva.

| a. SINTESI DELLA DURATA NETTA DEI LAVORI RIPETITIVI IN GIORNATA MEDIA RAPPRESENTATIVA | | | |
|---|----------------------|--|--------------------------------|
| DURATA TURNO (min) LORDA | <input type="text"/> | DURATA TURNO (min) EFFETTIVA | <input type="text"/> |
| DURATA LAVORI NON RIPETITIVI (pulizie, approvvigionamenti.....) in minuti | | | <input type="text"/> |
| N. PAUSE EFFETTIVE NEL TURNO (O ALTRE INTERRUZIONI COSTANTI DI ATTIVITA' DEGLI ARTI SUPERIORI), DI DURATA UGUALE O SUPERIORE A 8 MINUTI), ESCLUSA PAUSA MENSА <u>considerabili come recuperi</u> | | | <input type="text"/> |
| NOTE | | | |
| DURATA (in minuti) EFFETTIVA COMPLESSIVA DI TUTTE LE PAUSE O ALTRE INTERRUZIONI DI ATTIVITA' DEGLI ARTI SUPERIORI (COSTANTI E DI DURATA CONSECUTIVA DI ALMENO 8 MINUTI); ESCLUDERE LA PAUSA MENSА | | | <input type="text"/> |
| NOTE | | | |
| DURATA EFFETTIVA PAUSA MENSА SE PRESENTE INTERNA AL TURNO (RETRIBUITA) in minuti | | | <input type="text"/> |
| SE ESISTE UNA PAUSA MENSА DI ALMENO 30 MINUTI (NON RETRIBUITA, FUORI ORARIO DI LAVORO) O ALTRE INTERRUZIONI DI ATTIVITA' (COME TRASFERIMENTI IN ALTRE SEDI DELLA DURATA DI PIU' DI 30 MINUTI), INDICARNE IL NUMERO. | | | <input type="text"/> |
| DESCRIZIONE DEL LAVORO RIPETITIVO | | | |
| Ci sono veri e propri cicli: scrivere il numero dei pezzi/lavoratore/turno | <input type="text"/> | Durata media NETTA nel turno del lavoro ripetitivo (in minuti) | <input type="text" value="0"/> |
| Ci sono veri e propri cicli: scrivere il tempo di ciclo osservato (in secondi) | <input type="text"/> | DURATA del TEMPO TOTALE NETTO DI CICLO calcolato o CADENZA (secondi) | <input type="text"/> |
| non ci sono veri cicli ma si ripetono sempre le stesse azioni: scrivere (in secondi), il tempo di osservazione rappresentativo scelto | <input type="text"/> | | |
| sono presenti tempi di recupero interni al ciclo | <input type="text"/> | %differenza fra tempo di ciclo osservato e tempo di ciclo raccomandato | <input type="text"/> |
| | | | minuti non giustificati |

Figura 13 – Seconda parte checklist OCRA riguardante pause e durata effettiva dei turni di lavoro.

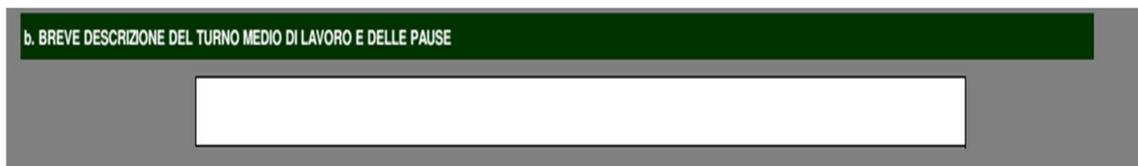
Figura 13 mostra come pilastro di questo documento è la determinazione del **tempo netto di lavoro ripetitivo** che si ottiene sottraendo al tempo “lordo” di turno o di “presenza pagata”, i seguenti tempi:

- le pause;
- la durata della pausa mensа (se inclusa nel tempo di turno);

- i tempi dedicati a lavori non ripetitivi.

Inoltre, non sono da escludere altri fattori temporali come il vero orario di inizio lavoro nella postazione considerata poiché l'operatore impiegherà del tempo per vestirsi negli spogliatoi (se presenti), per avviare e rifornire le macchine, per raggiungere la postazione, ecc. Anche il tempo reale dedicato alle pause e l'orario di abbandono del posto di lavoro meritano attenzione. Tutti questi elementi andranno a decrementare il tempo netto di lavoro ripetitivo, non potranno però essere considerati come pause.

Specificando nella sezione 'descrizione del lavoro ripetitivo' (figura 13) la presenza di cicli o di attività ripetitive sarà possibile determinare la durata **del tempo netto totale di ciclo**; quest'ultimo verrà confrontato con il **tempo di ciclo osservato** (misurato sul posto di lavoro o da filmati con cronometro): se la differenza è notevole, oltre il 5%, saranno fatte analisi sui tempi 'persi'. Ecco spiegata la presenza della casella "minuti non giustificati".



The image shows a section of a checklist. At the top, there is a dark green header with the text "b. BREVE DESCRIZIONE DEL TURNO MEDIO DI LAVORO E DELLE PAUSE" in white. Below the header is a large, empty white rectangular box with a thin black border, intended for the user to provide a description of the work shift and breaks.

Figura 14 – Breve sezione della checklist OCRA descrittiva.

Dopo aver descritto i tempi di come si svolgono turni e pause (figura 14) vi è, nella parte sottostante, la sezione 'c' dedicata alla frequenza.

| c. VALUTAZIONE DEI PRINCIPALI FATTORI DI RISCHIO E PRIORITA' NEGLI INTERVENTI MIGLIORATIVI (descrivere il lato peggiore o entrambi se il lavoro è simmetrico) | | | | | | |
|---|---|--------|---------|-----------|----------|-----------|
| Lato esaminato | | DX | SX | | BIL | |
| | | | NAZIONI | FREQUENZA | NAZIONI | FREQUENZA |
| FREQUENZA: azioni dinamiche | indicare il numero della azioni tecniche osservate separatamente per l'arto destro e sinistro | destro | | | sinistro | |
| | Se le azioni sono molto rapide e difficili da contare (> 70az/min), apporre una "X" nella casella, senza contare le azioni tecniche | destro | | | sinistro | |
| SONO POSSIBILI BREVI INTERRUZIONI (il ritmo non è completamente imposto dalla macchina) | | | NO | SI | | |
| | | | DESTRO | | SINISTRO | |
| | | | NO | SI | NO | SI |
| FREQUENZA: azioni statiche | è mantenuto un oggetto in presa statica per una durata di almeno 5sec., che occupa 2/3 del tempo ciclo o del periodo di osservazione; | | | | | |
| | è mantenuto un oggetto in presa statica per una durata di almeno 5sec., che occupa 3/3 del tempo ciclo o del periodo di osservazione | | | | | |

Figura 15 – Terza parte checklist OCRA riguardante la frequenza delle azioni di entrambi gli arti.

In questo capitolo, nella parte riguardante l'indice OCRA, ho definito l'azione tecnica che, sinteticamente, è quell'insieme di movimenti dei distretti articolari che portano al compimento di un'operazione lavorativa semplice.

La *frequenza* è descritta dal numero di azioni tecniche associate all'unità di tempo (*numero di azioni tecniche/minuto*). Studiare le azioni tecniche implica stimare il rischio frequenza; figura 15 mostra la parte dedicata a quest'ultimo.

La compilazione riguarderà solo il lato peggiore, entrambi se il lavoro è simmetrico.

Il primo blocco valuta la frequenza di azioni dinamiche ed è di fondamentale importanza indicare se sono possibili brevi interruzioni che abbasseranno il punteggio parziale; il secondo blocco illustra la frequenza di azioni statiche sia per lato destro che sinistro.

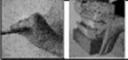
| SPALLA | GOMITO | POLSO | | MANO | | |
|---|---|---|---------------------|--|---------------------|-----------------------------|
| BRACCIO ALTO | FLESSO-ESTENSIONI E PRONO SUPINAZIONI | FLESSO-ESTENSIONI E DEVIAZIONE RADIO-ULNARE | | PRESE DELLA MANO INCONGRUE (PINCH, UNCINO, PALMARE) | | |
| POSTURE INCONGRUE DEGLI ARTI SUP.ADX | | MENO DI 1/3 DEL TEMPO | CIRCA 1/3 DEL TEMPO | CIRCA META' DEL TEMPO | CIRCA 2/3 DEL TEMPO | CIRCA TUTTO IL TEMPO |
|  | mano in presa pinch o palmare o uncino (non in grip) | | | | | |
|  | braccio quasi ad altezza spalla | | | | | |
|  | deviazioni estreme del polso | | | | | |
|  | ruotazione completa di oggetti o esegue ampie flessio-estensioni del gomito | | | | | |
| STEREOT. | durata del ciclo | sup.15 sec | | tra i 9 e i 15 sec. | | uguale o inferiore a 8 sec. |
| | ripetere sempre le stesse azioni tecniche | | | buona parte del tempo (più della metà) | | pressocchè tutto il tempo |
| NOTE | | | | | | |

Figura 16 – Quarta parte checklist OCRA riguardante posture incongrue arti superiori lato destro.

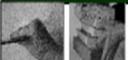
| POSTURE INCONGRUE DEGLI ARTI SUP.ASX | | MENO DI 1/3 DEL TEMPO | CIRCA 1/3 DEL TEMPO | CIRCA META' DEL TEMPO | CIRCA 2/3 DEL TEMPO | CIRCA TUTTO IL TEMPO |
|---|---|-----------------------|---------------------|--|---------------------|-----------------------------|
|  | mano in presa pinch o palmare o uncino (non in grip) | | | | | |
|  | braccio quasi ad altezza spalla | | | | | |
|  | deviazioni estreme del polso | | | | | |
|  | ruotazione completa di oggetti o esegue ampie flessio-estensioni del gomito | | | | | |
| STEREOT. | durata del ciclo | sup.15 sec | | tra i 9 e i 15 sec. | | uguale o inferiore a 8 sec. |
| | ripetere sempre le stesse azioni tecniche | | | buona parte del tempo (più della metà) | | pressocchè tutto il tempo |
| NOTE | | | | | | |

Figura 17 - Quarta parte checklist OCRA riguardante posture incongrue arti superiori lato sinistro.

Le figure 16 e 17 illustrano la valutazione del rischio posturale. In questa fase dovranno essere descritte e quantificate, in termini di tempo, solo le posture incongrue e i movimenti estremi.

Le posture ergonomicamente negative riguardano le articolazioni scapolo-omerale, del gomito, del polso e della mano rispettivamente a destra e sinistra. Le posizioni raggiunte dai distretti articolari sono quantificate rispetto ad assi di riferimento del corpo umano stabiliti dai tecnici: prendendo come esempio la spalla, essa genera un punteggio elevato (quindi negativo) se il braccio si trova ad altezza di suddetta parte, ad un angolo di circa 80° rispetto all'asse prestabilito.

Anche la stereotipia viene considerata: la presenza di gesti ripetitivi, e dello stesso tipo, durante lo svolgimento dell'attività lavorativa implica un peggioramento del punteggio, specialmente se queste azioni si svolgono per più del 50% del tempo ciclo, oppure con cicli di durata brevissima inferiore ai 15 secondi o agli 8 secondi. Anche il mantenimento di posizioni statiche per più della metà del tempo ciclo indica la presenza di questo fenomeno che andrà influenzerà (in negativo) il punteggio di questa sezione.

Prima di descrivere il segmento dedicato al fattore forza è doveroso introdurre la scala **Borg CR-10**.

Il concetto di *sforzo percepito* è un indicatore che definisce l'intensità dell'attività che sia essa lavorativa, sportiva e altre. Lo psicologo svedese Gunnar Borg fu il primo a studiare gli effetti psicofisici dovuti allo sforzo cercando di tradurre in dati le informazioni ricevute dai soggetti coinvolti nello studio.

In sintesi, Borg introdusse 3 scale: Scala di Borg originale (RPE), Scala Borg CR100 e Scala di Borg CR10. L'ultima (d'interesse per questa tesi) ha una finestra di valori che va da 0 (valore minimo) a 10 (massimo sforzo, ossia la sensazione di sforzo più alta mai percepita nella propria vita), definita anche 'Category Ratio scale 0-10'.

| Scala RPE Di Borg (CR10) | |
|---------------------------------|------------------------|
| 10 | Massimale |
| 9 | Estremamente difficile |
| 8 | |
| 7 | Molto difficile |
| 6 | |
| 5 | Difficile |
| 4 | Sembra difficile |
| 3 | Moderato |
| 2 | Facile |
| 1 | Molto facile |
| 0 | Nessuno sforzo |

Figura 18 – Scala di Borg CR10

Questa scala (figura 18) è definita ‘aperta’ poiché si possono ottenere valori superiori al 10.

L’applicazione di questa metodologia per valutare la forza applicata è basata su interviste ai soggetti che svolgeranno l’attività, ed è di fondamentale importanza *non confondere la percezione dello sforzo con la percezione del dolore*. Con le informazioni ricevute dagli interessati, basandosi sulle tabelle di Borg, sarà possibile quantificare questo fenomeno fortemente soggettivo.

| | | MENO DI 1/3 DEL TEMPO | CIRCA 1/3 DEL TEMPO | CIRCA META' DEL TEMPO | CIRCA 2/3 DEL TEMPO | CIRCA TUTTO IL TEMPO | 7 |
|---|---|-----------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|---|
| FORZA LATO DESTRO | uso di forza moderata in uso attrezzi o ogni altra azione lavorativa | | | | | | 8 |
| picchi di forza FORTE (Borg 5-6-7) in uso attrezzi o ogni altra azione lavorativa | picchi di 1-2 secondi ciascuno ogni 10 minuti | | intorno all'1% del tempo | | intorno al 5% del tempo | | |
| picchi di forza INTENSA (Borg 8-9-10) in uso attrezzi o ogni altra azione lavorativa | picchi di 1-2 secondi ciascuno ogni 10 minuti | | intorno all'1% del tempo | | intorno al 5% del tempo | | |
| NOTE SULL'USO DELLA FORZA | | | | | | | |
| | | MENO DI 1/3 DEL TEMPO | CIRCA 1/3 DEL TEMPO | CIRCA META' DEL TEMPO | CIRCA 2/3 DEL TEMPO | CIRCA TUTTO IL TEMPO | 7 |
| FORZA LATO SINISTRO | uso di forza moderata in uso attrezzi o ogni altra azione lavorativa | | | | | | 8 |
| picchi di forza FORTE (Borg 5-6-7) in uso attrezzi o ogni altra azione lavorativa | picchi di 1-2 secondi ciascuno ogni 10 minuti | | intorno all'1% del tempo | | intorno al 5% del tempo | | |
| picchi di forza INTENSA (Borg 8-9-10) in uso attrezzi o ogni altra azione lavorativa | picchi di 1-2 secondi ciascuno ogni 10 minuti | | intorno all'1% del tempo | | intorno al 5% del tempo | | |
| NOTE SULL'USO DELLA FORZA | | | | | | | |

Figura 19 – Quinta parte checklist OCRA dedicata al fattore forza.

Approfondire il fattore forza della checklist richiederebbe l'utilizzo di strumentazioni dedicate che garantirebbero la stima del rischio legata a questo parametro. Per semplificare la compilazione della sezione in figura 19 si utilizza la scala Borg CR10 intervistando singolarmente gli operatori dopo che hanno svolto l'attività (entro mezz'ora). Il feedback ricevuto sullo *sforzo muscolare* soggettivamente percepito sarà attendibile e veritiero specialmente in caso di elevato numero di intervistati.

Le attività da descrivere rispetto all'uso dei gradi di forza sono: tirare o spingere, schiacciare pulsanti, chiudere o aprire, premere o maneggiare componenti, usare attrezzi.

Non sono consentiti valori di forza elevati per più della metà del tempo ciclo, condizione che porterà ad un aumento del punteggio parziale notevole.

| | | | | | | DX | SX |
|---------------------------|---|---|--|--|--|--|----|
| COMPLEM. RISCHI FISICI | uso martelli, mazze per colpire | più della metà del tempo | | | | | |
| | uso delle mani per dare colpi | frequenza di almeno 10 volte/ora | | | | | |
| | uso strumenti vibranti (MARTELLI PNEUNATIC, FRESE ECC. E AVVITATORI SE DETERMINANO CONTRACCOLPI) | almeno 1/3 del tempo | | | | | |
| | altro: indicare solo quelli elencati nel foglio di commento allegato | descrivere nella parte in bianco a sinistra il fattore o i fattori presenti e barrare la casella/a a destra | | | | | |
| COMPLEM. O ORGANIZZATIVI | ritmo imposto dalla macchina | ritmo imposto con possibilità di modulazione | | ritmo imposto: lavoro su linea in scorrimento a velocità molto lenta | | ritmo imposto senza possibilità di modulazione su linea in movimento | |
| NOTE: | | | | | | | |

Figura 20 – Sesta parte checklist OCRA dedicata ai fattori complementari.

I fattori complementari, in parte descritti in figura 20, rappresentano quell’insieme di attrezzature e operazioni che provocano l’aggravamento della situazione ergonomica. L’utilizzo di martelli, strumenti vibranti, frese e altri elementi pesanti inducono sicuramente un aumento del punteggio. Oltre i componenti fisico-meccanici anche l’aspetto organizzativo peserà poiché una postazione di lavoro con ritmo imposto da macchinari genererà stress psicologico e fisico nell’operatore; gli addetti alla redazione della checklist OCRA devono considerare questo aspetto nella fase di analisi dei filmati.

“Ritmo imposto con possibilità di modulazione” sott’intende la presenza di “*zone polmone*” che permettono di rallentare o accelerare il ritmo di lavoro.

| d. PUNTEGGIO FINALE CHECKLIST OCRA, PONDERATO PER LA DURATA | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------|--------|-------|-------|------|--------|--------|-------|------|-------------|----------------|----------|----------------|
| PUNTEGGIO FINALE PARZIALE indipendente da recupero e durata DESTRO <input type="text"/> SINISTRO <input type="text"/> PUNTEGGIO FINALE INTRINSECO indice indipendente durata DESTRO <input type="text"/> SINISTRO <input type="text"/> | | | | | | | | | | | | | |
| PUNTEGGIO FINALE PONDERATO PER DURATA NETTA DESTRO <input type="text"/> SINISTRO <input type="text"/> | | | | | | | | | | | | | |
| RIASSUNTO DELLA CHECKLIST | | | | | | | | | | | | | |
| denominazione | moltiplicatore recupero | recup. | freq. | forza | lato | spalla | gomito | polso | mano | stereotipia | totale postura | complem. | checklist OCRA |
| | 1,000 | | | | DX | | | | | | | | |
| | 1,000 | | | | SX | | | | | | | | |

Figura 21 – parte finale checklist OCRA riassuntive i punteggi.

Sommando i punteggi ottenuti in ognuno dei fattori di rischio (recupero, frequenza, forza, postura e complementari separatamente) per l'arto destro e sinistro si ottiene il punteggio finale della checklist OCRA. I valori di questo modulo sono ponderati in funzione dell'indice OCRA; infatti, grazie a coefficienti moltiplicativi si ottiene la corrispondenza con la fascia di rischio (come chiarito in figura 22).

| CHECK LIST | INDICE OCRA | FASCE | RISCHIO |
|-------------|-------------|--------------------------------|----------------------------------|
| FINO A 7,5 | 2,2 | FASCIA VERDE | RISCHIO ACCETTABILE |
| 7,6 – 11,0 | 2,3 – 3,5 | FASCIA GIALLA | BORDERLINE O RISCHIO MOLTO LIEVE |
| 11,1 – 14,0 | 3,6 - 4,5 | FASCIA ROSSO LEGGERO | RISCHIO LIEVE |
| 14,1 – 22,5 | 4,6 – 9,0 | FASCIA ROSSO MEDIO | RISCHIO MEDIO |
| ≥ 22,6 | ≥ 9,1 | FASCIA VIOLA (o rosso intenso) | RISCHIO ELEVATO |

Figura 22 - Corrispondenze fra i valori dell'indice OCRA e i valori del punteggio finale della checklist OCRA e relative fasce di rischio.

Nel mio caso di studio (la checklist è un file Excel già provvisto di formule nelle apposite celle di calcolo dei punteggi) per ottenere il risultato parziale di ogni sezione (situato sulla destra, non rappresentato per motivi grafici) è stato sufficiente compilare le caselle del modulo con le informazioni sulla postazione di lavoro, sui tempi, sulla forza, ecc.; infine, dai dati immessi, si determina il termine globale già riferito all'indice OCRA nella sezione 'd' (figura 21), per i lati destro e sinistro.

Il modulo, descritto in questo capitolo, da compilare per l'analisi ergonomica è facilmente reperibile sul web (es. www.inail.it) con le indicazioni necessarie per una congrua redazione del documento.

4 – PROGETTAZIONE E SIMULAZIONE DI UNA POSTAZIONE ROBOTICA COLLABORATIVA PER LA LUCIDATURA

In questo capitolo si entrerà nel merito del contesto studiato portando analisi, risultati ed una simulazione su software. Sarà spiegato l'attuale funzionamento della postazione di lavoro confrontandolo con il nuovo layout ideato, caratterizzato dalla presenza del cobot. Verranno mostrate le migliorie e la convenienza nell'utilizzare sistemi robotici.

4.1 – LAYOUT E FUNZIONAMENTO POSTAZIONE ATTUALE

L'elaborazione di questa tesi è fondata sul tirocinio che ho praticato all'Università Politecnica delle Marche, facoltà di ingegneria. Il caso di studio che ho scelto di esaminare si basa sulle soluzioni da apportare al reparto produttivo di una azienda di scarpe di lusso; in particolar modo l'attenzione è stata posta al reparto in cui vi è la *fase di lucidatura delle scarpe*. Le calzature che giungono nella sezione di lucidatura sono opache e per ottenere l'effetto desiderato è necessario applicare il lucido in due step differenti: *in prima fase e in seconda fase (definita anche ad acqua)*.

Osservando sul posto l'esecuzione della lavorazione sono state individuate, da membri preposti dall'università, *undici azioni* (task) che meglio caratterizzano il processo di lucidatura. Le 11 task individuate sono:

1. Controllo visivo delle due calzature (paio)
2. Inserimento della forma

Prima fase:

3. Posizionamento del panno sulle dita
4. Prelievo del lucido
5. Strofinio sulle strisce di scotch
6. Applicazione del lucido sulla calzatura

Seconda fase:

7. Nuovo posizionamento del panno sulle dita
8. Imbevimento (o impregnamento) del panno con l'acqua
9. Prelievo del lucido
10. Strofinio sulle strisce di scotch
11. Applicazione del lucido sulla calzatura

Le azioni 3 - 4 - 5 - 6 e ancora 7 - 8 - 9 - 10 - 11 saranno ripetute un numero di volte variabile con lo svolgimento del processo, con il tipo di scarpa (una calzatura taglia europea 45 richiederà più passaggi di lucidatura rispetto ad una 41), con le percezioni visive dell'addetto; sono proprio questi ultimi a stabilire quando la calzatura non richiede ulteriore applicazione di lucido e quando questa è terminata. I dipendenti che si occupano di lustrare svolgono un ruolo di grande valore essendo la qualità delle calzature da loro stabilita attraverso il controllo visivo: gli addetti intuiscono che lucido utilizzare in funzione del colore di base della scarpa; capiscono la pressione da esercitare sulla superficie e in che zone sono richiesti più passaggi; notano anche le differenze tra le calzature dello stesso paio cercando di mitigarle rendendole le più simili possibile. Con le immagini sottostanti, e con brevi descrizioni schematiche, verrà resa più semplice la comprensione dei task.



Figura 23 – Controllo visivo del paio di scarpe, task 1.

Figura 23 mostra l'operatore durante il controllo visivo in base al quale deciderà come agire. È importante notare la semplicità della postazione attuale in cui sono presenti: un solo addetto per banco di lavoro, le strisce di scotch bianco, il panno, i lucidi e l'acqua. È presente anche una sedia di cui l'addetto può usufruire a piacimento oltre ad un sistema di illuminazione.

Può essere utilizzato un solo lucido o più di uno in base al colore della calzatura.



Figura 24 – Posizionamento del panno sulle dita della mano desinata alla lucidatura, task 3.

Dopo aver inserito la forma (task 2), che garantisce rigidezza, all'interno della scarpa (vista la pressione da applicare per distribuire il lucido), l'operatore avvolge indice e medio con il panno per assicurare stabilità alla mano di lavoro.



Figura 25 – Prelievo del lucido, task 4.

Figura 25 mostra la fase di prelievo del lucido con il panno. La mano che non lucida, in questo caso la sinistra, ha il solo compito di afferrare la scarpa nel modo più comodo all'operatore mantenendola in posizione statica.



Figura 26 – Strofinio sulle strisce di scotch, task 5.

Cruciale l'azione mostrata in figura 26 poiché uniformare il lucido presente sul panno strofinando le dita sullo scotch, permette di non macchiare la calzatura durante il primo contatto evitando situazioni che possono portare allo scarto della calzatura.



Figura 27 – Applicazione del lucido sulla scarpa, task 6.



Figura 28 – Applicazione del lucido sulla scarpa, task 6.

Figura 27 e 28 mostrano lo svolgimento della lucidatura (o delle *azioni tecniche*) attraverso movimenti trasversali e circolari di diametro variabile in base alla zona. La lavorazione avviene sempre partendo dalla punta, dal toppone o dal bordo vicino alla suola poiché sono i punti in cui la sfumatura sarà più accentuata. Le altre aree saranno raggiunte gradualmente per ottenere la tonalità desiderata.



Figura 29 – Traiettorie di lucidatura.

Sommariamente questi sono i passaggi che descrivono la prima fase di lucidatura al termine della quale la calzatura risulterà ancora opaca, motivo per cui è imprescindibile una seconda fase di lavorazione: per ottenere l'effetto lucido è *necessario impregnare il panno con l'acqua prima di prelevare il lucido* (le immagini sottostanti aiuteranno la comprensione). È questa la differenza principale tra lucidatura in prima e seconda fase.



Figura 30 – Imbevimento del panno con l'acqua, task 8.

Figura 30 mostra l'operatore che, dopo aver sistemato il panno sulla mano (task 7), preleva l'acqua premendo sull'apposito contenitore.



Figura 31 – Prelievo del lucido, task 9.

Con il panno bagnato viene prelevato il lucido, in questo caso diverso rispetto a quello utilizzato in prima fase, figura 31.



Figura 32 – Strofinio sulle strisce di scotch, task 10.



Figura 33 – Applicazione del lucido sulla calzatura, task 11.

Figura 33 mostra come la calzatura risulta visibilmente più lucida grazie a questa seconda fase.

Le operazioni svolte in questi due passaggi sono molto simili, ad esempio la mano sinistra è sempre in posizione di grip sulla calzatura per tenerla ferma e stabile; cambiano leggermente i tempi.

Per lustrare una calzatura in prima e seconda fase occorrono in totale **15/16 minuti circa**, **rispettivamente 7/8 minuti per la prima fase, 7/8 minuti per la seconda.**

La tesi ha l'obiettivo di sostituire l'operatore nella prima fase di lucidatura, affidandola al robot collaborativo, lasciando però invariata la seconda fase che si svolgerà in maniera convenzionale, con le stesse azioni indicate in questo capitolo.

“Il fatto a mano” è una peculiarità del settore lusso, in cui si trova l'azienda, motivo per il quale il secondo step di lucidatura non viene variato in nessun modo: lo svolgimento a mano di quest'ultima fase di dettaglio è un punto di forza che garantisce l'unicità del prodotto non avendo gli operatori la ripetibilità del robot. Eventuali difformità nella distribuzione del lucido nella calzatura possono essere sistemate (nel limite del possibile) dall'operatore attraverso il controllo visivo e agendo di conseguenza, capacità che il robot non ha.

L'inserimento del robot per lucidare parzialmente la calzatura ha lo scopo di migliorare l'ergonomia della postazione di lavoro, rendono le mansioni della persona più agevoli e meno gravose.

Necessariamente deve essere fatta una valutazione del rischio in presenza dell'automa poiché non può assolutamente venire meno la sicurezza degli addetti.

Per lo studio di queste due discipline saranno utilizzati gli strumenti visti nei capitoli 2.5 e 2.6 in particolare il metodo Pilz per quantificare il rischio e la checklist OCRA per definire il rischio da sovraccarico biomeccanico.

La produttività, visto il costo di implementazione dei robot, non potrà subire diminuzioni; dovranno anzi essere studiate strategie che incrementano il numero di scarpe al giorno prodotte.

Attualmente il reparto è caratterizzato dai seguenti numeri:

Tabella 1 - Dati sul funzionamento attuale del reparto di lucidatura

| | |
|---|-----|
| NUMERO DI OPERATORI SVOLGENTI LA LUCIDATURA | 11 |
| GIORNI LAVORATIVI | 5 |
| MINUTI DI PAUSA (SOLO AL MATTINO) | 15 |
| MINUTI DI PAUSA PRANZO | 60 |
| MEDIA PAIA LUCIDATE A SETTIMANA (ANNO 2022) | 862 |
| MEDIA PAIA LUCIDATE AL GIORNO | 173 |
| MEDIA PAIA LUCIDATE AL GIORNO DA OGNI OPERATORE | 16 |
| MEDIA DELLA % DI PAIA LUCIDATE PER INTERO DA OGNI OPERATORE AL GIORNO | 61% |
| MEDIA DELLA % DI PAIA LUCIDATE SOLO PUNTA E TOPPONE DA OGNI OPERATORE AL GIORNO | 39% |
| MEDIA NUMERO DI CAMBI COLORE PER OPERATORE AL GIORNO | 9 |

La tabella 1 mostra come le scarpe lucidate per intero da ogni operatore al giorno sono circa 10, le restanti 6 sono lavorate parzialmente. I turni di lavoro sono di 8 ore per 5 giorni settimanali. La pausa di 15 minuti è fatta al mattino, durante il pomeriggio invece non si hanno soste. Non sono specificati i dati antropometrici dei dipendenti.

Gli 11 operatori presenti riescono a lucidare 173 paia di scarpe al giorno per un totale di 862 a settimana. La taglia (europea) di calzatura più comunemente lucidata è la 41.5 pari al 14,4% rispetto al totale, segue poi la taglia 43 con l'11,4% e la 40 con l'11,2% (informazioni fornite dall'azienda).

4.2 – SIEMENS, TECNOMATIX PROCESS SIMULATE

Il software, di Siemens, utilizzato per creare la postazione e simulare il processo è Tecnomatix Process Simulate (versione 17.0).

Il programma è destinato prevalentemente al settore industriale essendo una soluzione digitale per la produzione, per la verifica dei processi di fabbricazione in un ambiente 3D dinamico.

Process Simulate fornisce un *ambiente virtuale in grado di replicare* il comportamento realistico delle fasi di produzione e l'ottimizzazione dei **tempi di ciclo** e di svolgimento del processo.

Possono essere simulate azioni (molto realistiche) come assemblaggio, operazioni umane e funzionamento meccanico di strumenti, macchine e robot; anche le collisioni possono essere analizzate per mezzo della simulazione vista la competenza del programma di riconoscere situazioni di contatto. Sono presenti, inoltre, moltissime possibilità di settaggio dello svolgimento dei processi che garantiranno agli ingegneri l'ottenimento di dati affidabili.

La *parte Human* del software consente di verificare il layout di una postazione di lavoro, garantendo che le risorse presenti possano essere raggiunte, assemblate e sottoposte a manutenzione. Questa sezione offre anche capacità di analisi e ottimizzazione dell'ergonomia degli interventi umani, come visto precedentemente con il metodo RULA (capitolo 2.6).

Sarà descritto in breve l'utilizzo di Process Simulate evidenziando principalmente le funzioni di cui mi sono avvalso nella simulazione, cercando di mostrare alcune caratteristiche della parte Human. Non è richiesta una descrizione dettagliata in quanto complessa, senza considerare la varietà di funzioni disponibili così come le impostazioni.

Nell'eventualità che si volesse imparare ad utilizzare il programma, *in lingua inglese*, sono disponibili videolezioni (di cui mi sono servito) fornite da Siemens munite di: spiegazione della teoria, video esempi dello svolgimento delle funzioni e slide con i comandi.

All'apertura del programma deve essere selezionata la modalità di utilizzo del software scegliendo tra “Standard mode”, “Line simulation mode”: la prima opzione è quella selezionata poiché più semplice e intuitiva e che meglio si addice al caso di studio (la seconda contiene funzioni più avanzate non necessarie per questa tesi). Dopo aver optato tra le due modalità operative si seleziona l'ambiente di lavoro definito “study”: d'ora in poi lo studio scelto funzionerà secondo la Standard, o Line simulation, mode. È possibile cambiare le modalità operative in corso d'opera.

Lo study (studio o ambiente) non è altro che lo spazio virtuale di lavoro in cui fare le simulazioni e altre attività di tipo umane, robotiche o altro; è possibile inoltre inserire risorse, dispositivi, parti e molto altro. L'opzione “create new study” permette di creare il nuovo ambiente virtuale. Possono essere utilizzati anche ambienti già esistenti presi dal web già dotati di macchine e ulteriori elementi su cui lavorare.

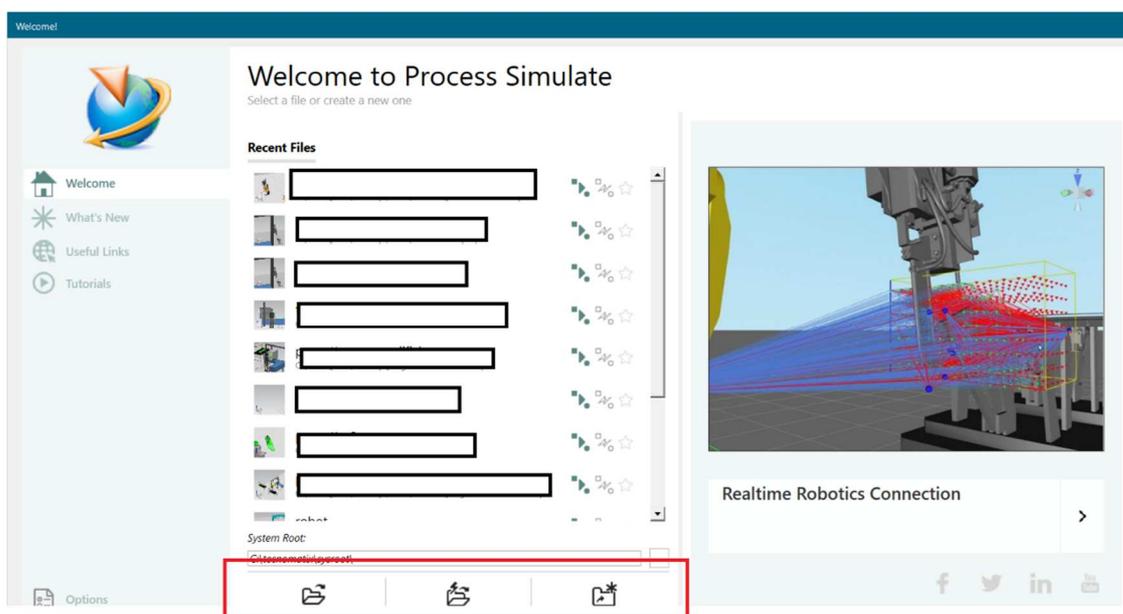


Figura 34 – Schermata iniziale all'apertura del programma.

Le tre icone nella parte bassa di figura 34, marcate in rosso, rappresentano rispettivamente (da sinistra a destra): “Standard mode”, “Line simulation simulation mode” e “create new study”.

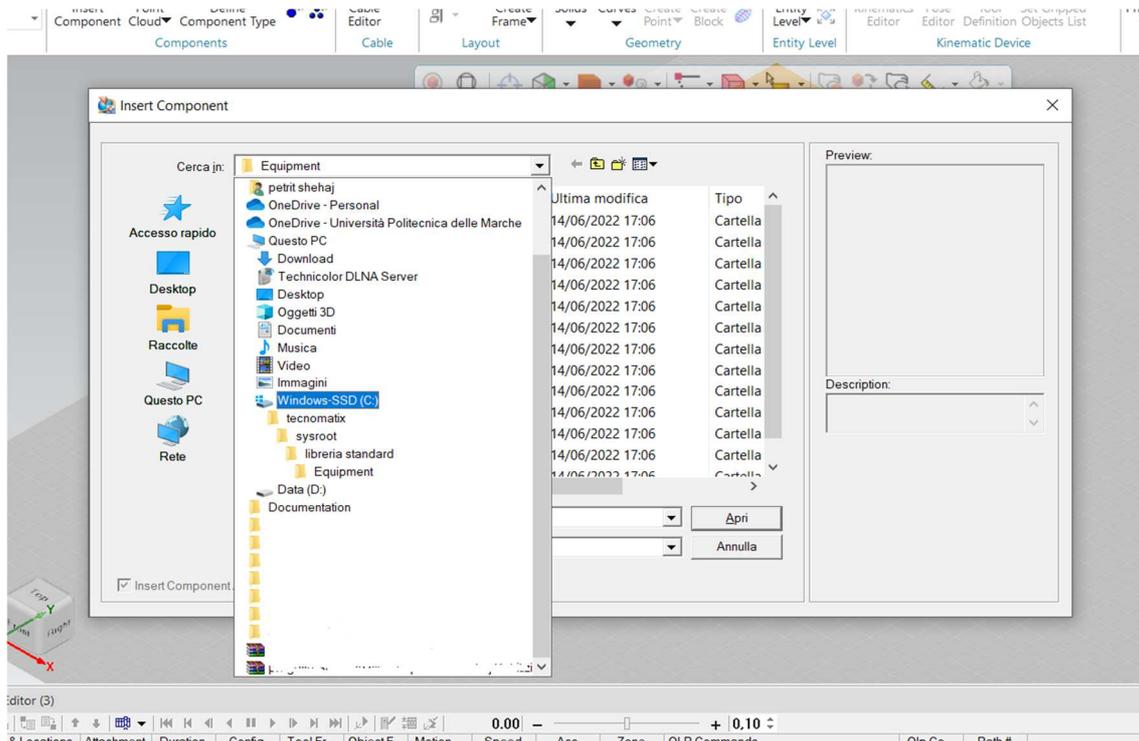


Figura 35 – Percorso di inserimento dei componenti nel programma.

Tutte le parti, le risorse e gli ambienti virtuali (o study) per poter essere utilizzati e disponibili devono essere appositamente inseriti nella cartella del programma, denominata “Tecnomatix”, nelle apposite sezioni come mostra figura 35. Ovviamente la cartella del programma in questione sarà contenuta all’interno dello spazio solido di archiviazione SSD (“Windows SSD C:”) oppure HDD (“Data D:”) del computer.

Le risorse, ad esempio, sono poste all’interno della sezione “libreria standard” dentro la quale si trova la cartella “Equipement”: qui sono disponibili elementi come banchi da lavoro, attrezzature meccaniche, macchine e altro. Questi possono essere scaricati dal web in formato “.cojt” ed inserendoli nella cartella “Equipement” risulteranno accessibili e pronti all’uso nell’ambiente virtuale di lavoro.

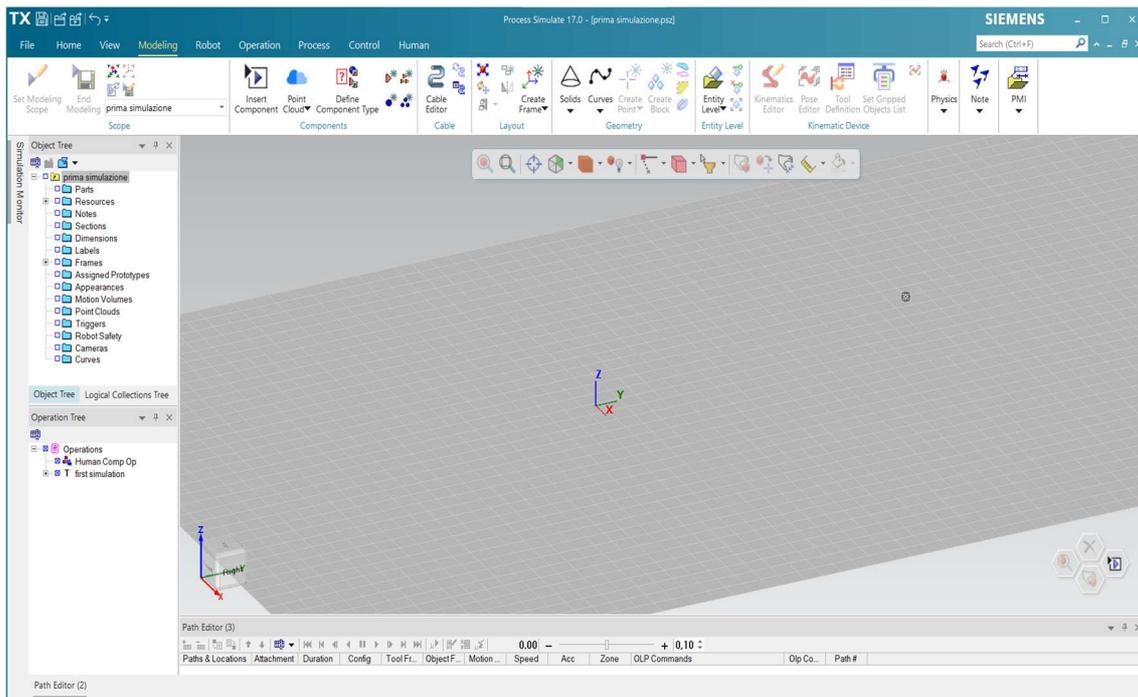


Figura 36 – Schermata tipo di un nuovo ambiente virtuale privo di elementi.

Creato il nuovo “studio” il programma si presenta come in figura 36. Di default vi è la griglia di cui si possono modificare le dimensioni, il colore o toglierla completamente. Compare il sistema di riferimento, dell’ambiente 3D, del quale si può spostare la posizione a piacimento variando l’origine nello spazio.

A sinistra si trova “l’Object tree” contenente tutti gli elementi, dispositivi, robot, note, quote presenti nell’ambiente; ogni elemento, inserito o creato, comparirà in questa sezione in ordine gerarchico. Sotto “l’Object tree” si trova “l’Operation tree” che include al proprio interno le simulazioni svolte, sia da robot che da umani, e i cinematismi creati per permettere a oggetti di muoversi (esempio una porta che si apre e si chiude). Anche in questo caso le operazioni saranno visualizzate rispettando l’ordine di creazione.

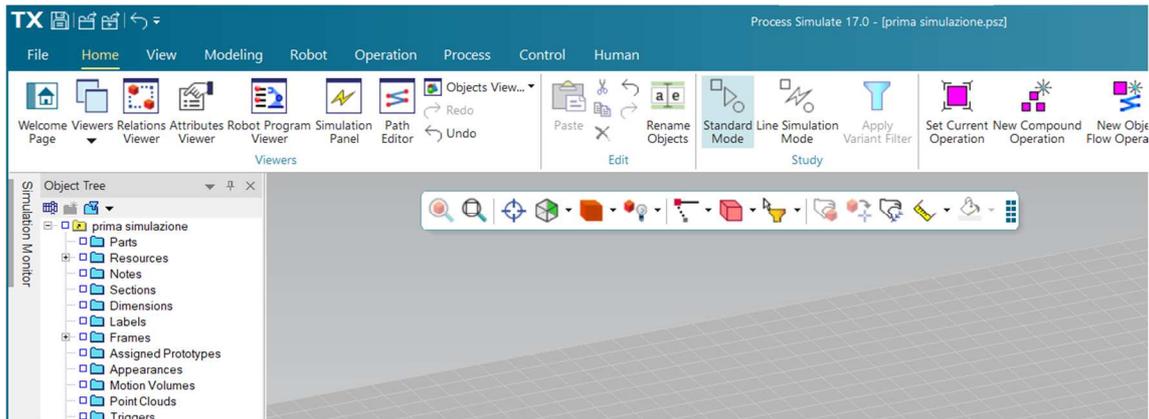


Figura 37 – Zoom schermata.

In figura 37 la barra centrale multifunzione comprendente le icone può essere spostata all'interno della schermata di lavoro per non creare interferenza: i comandi contenuti permettono di selezionare oggetti, selezionare una parte di oggetto, ingrandire, disattivare la visualizzazione di elementi vari, selezionare punti, misurare la distanza tra punti e altro.

Sono di chiara interpretazione le voci principali nella parte alta (File, Home, View, ecc.), così come l'icona di salvataggio del file vicino la dicitura "TX" nello spigolo in alto a sinistra. Il formato di salvataggio del virtual environments è denominato ".psz".

È stato mostrato appositamente il contenuto della voce "Home" poiché nella sezione "Study" è evidenziata la modalità in cui si sta utilizzando il programma, in questo caso Standard Mode, figura 37.

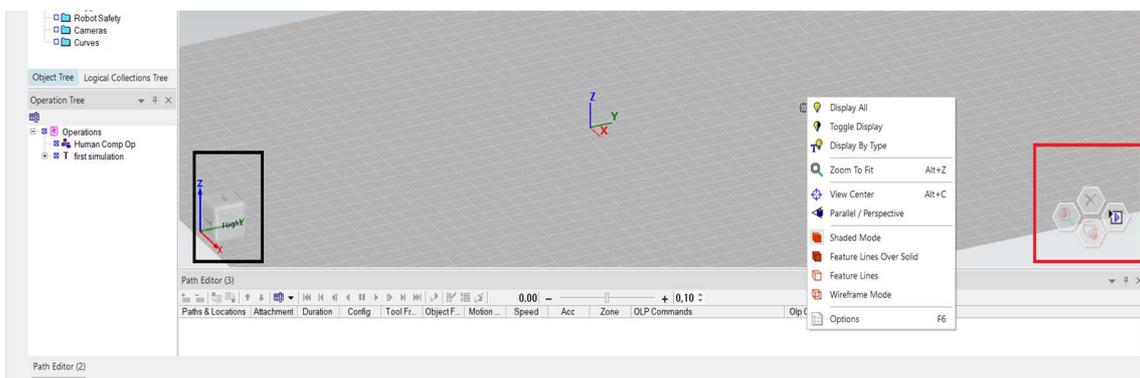


Figura 38 - Zoom schermata.

Ponendo l'attenzione nella parte bassa di figura 36 compaiono una serie di comandi e funzioni ingrandite, per meglio notare i caratteri, ottenendo figura 38. Essa mostra il menù a tendina che compare cliccando il tasto destro del mouse a centro schermo in cui vi sono prevalentemente comandi di visualizzazione degli oggetti, oltre ad un comando di opzioni (a fondo tendina).

L'elemento riquadrato di rosso, sulla destra, è un selettore che registra gli ultimi quattro comandi utilizzati, così da renderne più agevole il riutilizzo; l'elemento cubico evidenziato in nero, sulla sinistra, mostra l'orientamento dello spazio virtuale in cui si opera. Cliccando poi su una delle facce del cubo è possibile spostarsi nello spazio in corrispondenza della voce selezionata ("Right, Left, Front" ecc.).

Sempre in figura 38, il "Path editor" che si trova in basso permette di gestire la riproduzione della simulazione velocizzandola, fermandola, o facendola ripartire da capo.

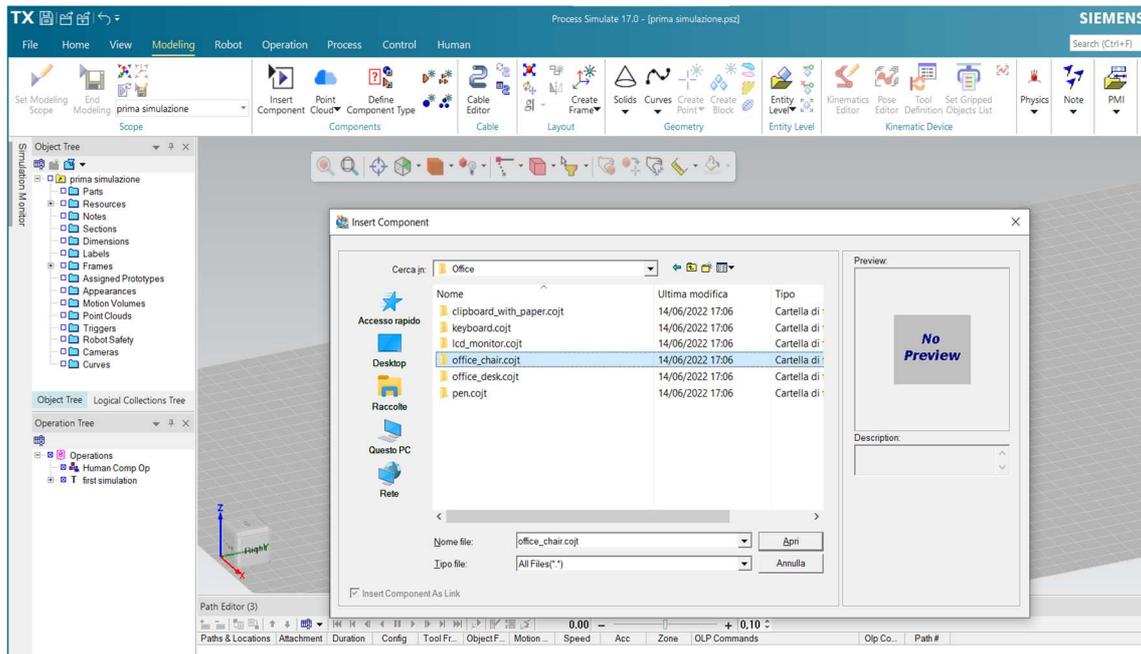


Figura 39 - Schermata di inserimento componenti

Per inserire un componente basterà andare sulla sezione "Modeling" (in alto), cliccare sul comando ben visibile "Insert Component": comparirà il menù a tendina di figura 39 che

permetterà di selezionare la parte d'interesse ed inserirla nello studio cliccando “apri”. Per alcuni elementi è disponibile anche una visualizzazione preventiva.

Come spiegato precedentemente, è possibile utilizzare qualsiasi tipo di dispositivo o elemento solo se inserito nella cartella del programma in figura 35. Se la suddetta cartella fosse vuota il programma non avrebbe alcun riferimento sui cui basarsi per selezionare i componenti da inserire nello spazio di lavoro. Il chiarimento di questo aspetto è rimarcato anche nelle videolezioni di Tecnomatix.

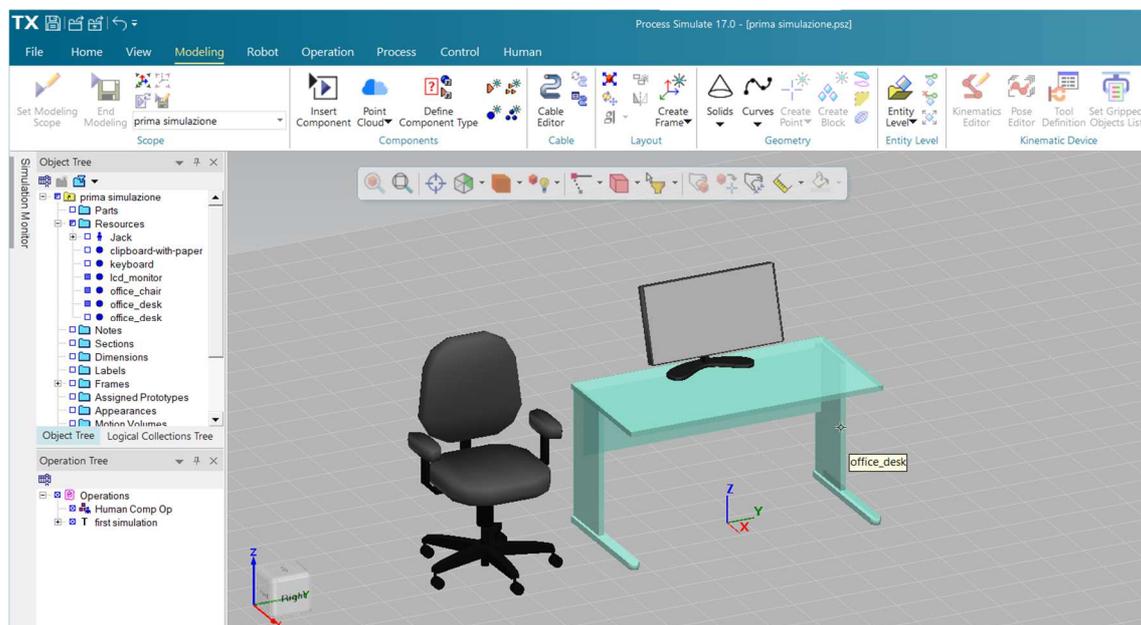


Figura 40 - Visualizzazione degli elementi nello studio e nell'Object tree.

Figura 40 mostra come i componenti introdotti vengono visualizzati nell'Object tree a sinistra con possibilità di attivarli, o disattivarli, cliccando sul quadratino blu a fianco al nome dell'oggetto: il riempimento della casella implica che l'elemento è attivo, visibile nello studio, contrario se fosse vuoto.

Sono stati inseriti tre componenti generici da catalogo nonché una sedia da ufficio, un monitor di PC e una scrivania; questi strumenti si trovano sotto la sezione “Resources” dell'Object tree e non su “Parts”. Le “parti” sono pezzi che compongono il prodotto fabbricato, altrimenti visti come elementi subordinati dell'assieme, e il formato che le descrive è denominato “.stp”; le “risorse” sono le strutture di fabbrica che eseguono le

operazioni di simulazione e sono di vario tipo (utensili, dispositivi, infissi e tanto altro) con formato “.cojt”. Anche gli umani che simulano le azioni sono compresi nelle risorse.

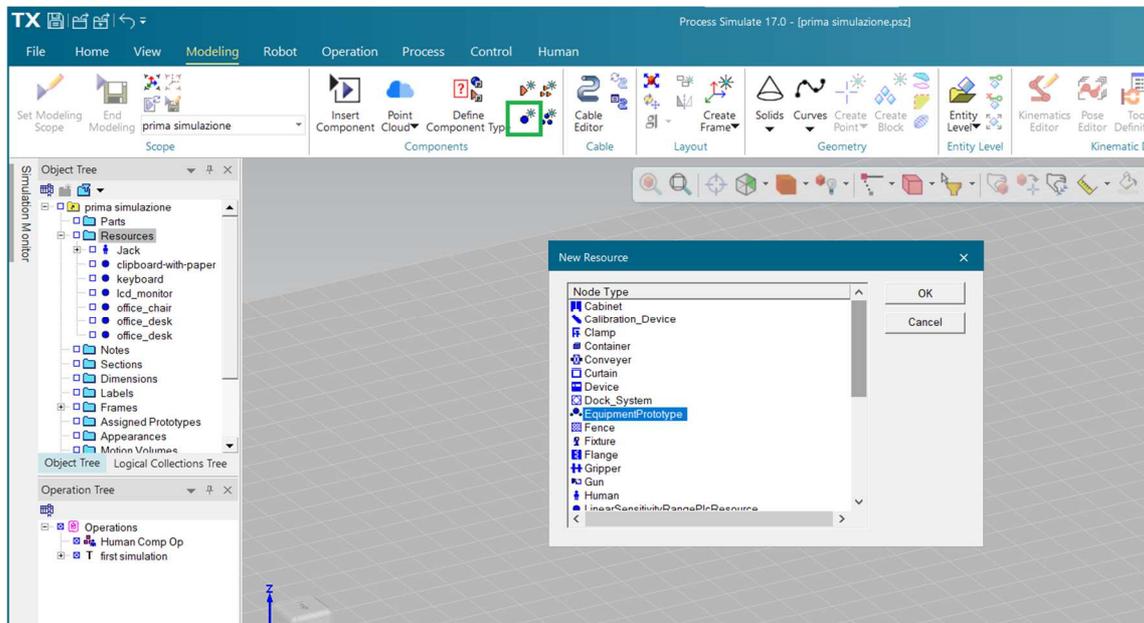


Figura 41 – Schermata di creazione risorse.

È possibile la creazione di risorse andando sulla voce “Modeling” (in alto), sezione “Components” e cliccare sull’icona evidenziata in verde, in figura 41, chiamata “Create New Resource”. Comparirà la finestra mostrata nell’immagine e selezionando poi l’icona marcata in blu “Equipment Prototype”, cliccando ok, apparirà la nuova risorsa nell’object tree chiamata appunto “Equipment Prototype” che potrà anche essere rinominata (figura 42). L’icona rossa, piccola, alla sinistra di quest’ultima voce indica che la risorsa è soggetta a modifiche.

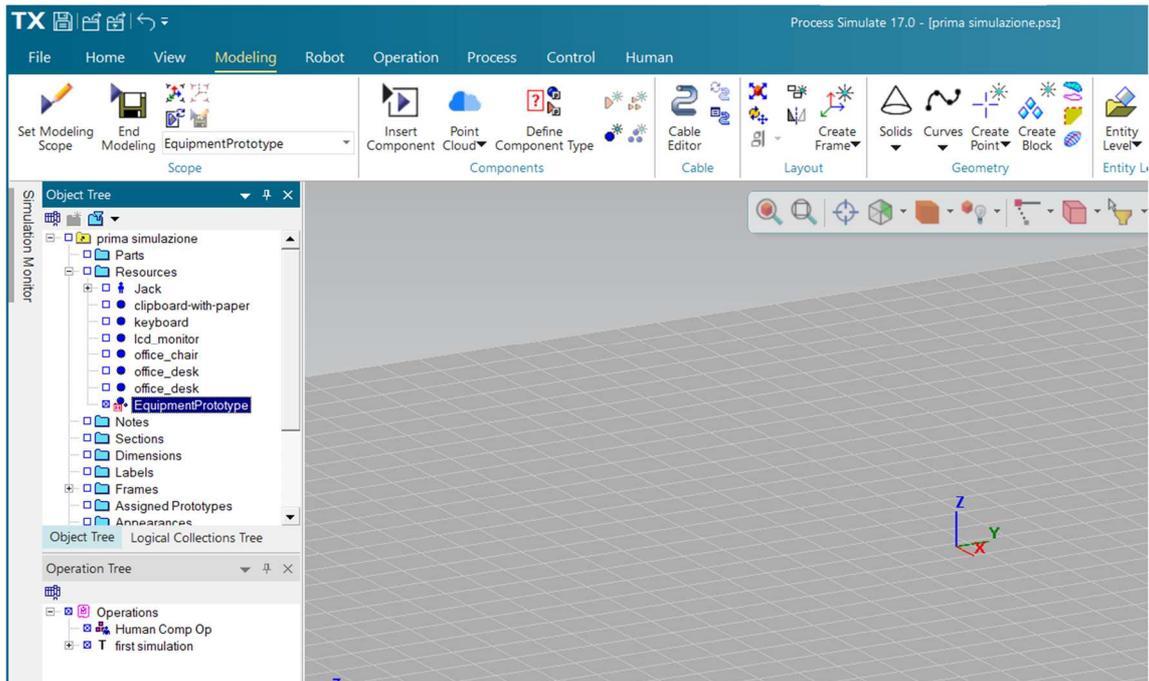


Figura 42 – Visualizzazione della risorsa creata nell'Object tree.

Risulta di particolare interesse descrivere questa funzione poiché permette di *creare solidi* (e non solo) con i passaggi successivi.

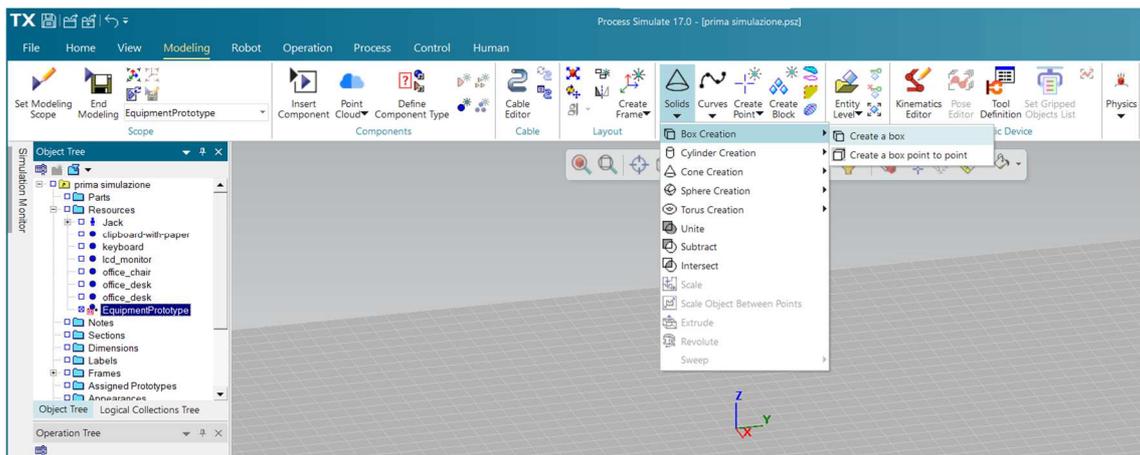


Figura 43 - Schermata con i comandi di creazione dei solidi.

Come primo step va selezionato “Equipment Prototype” sull’Object tree, poi comando “Solids”, e nella tendina corrispondente compaiono diverse geometrie disponibili (figura

43). Ad esempio, per un parallelepipedo rettangolo, basterà selezionare “Box creation” e poi “Create a box”; la schermata si presenterà come figura 44.

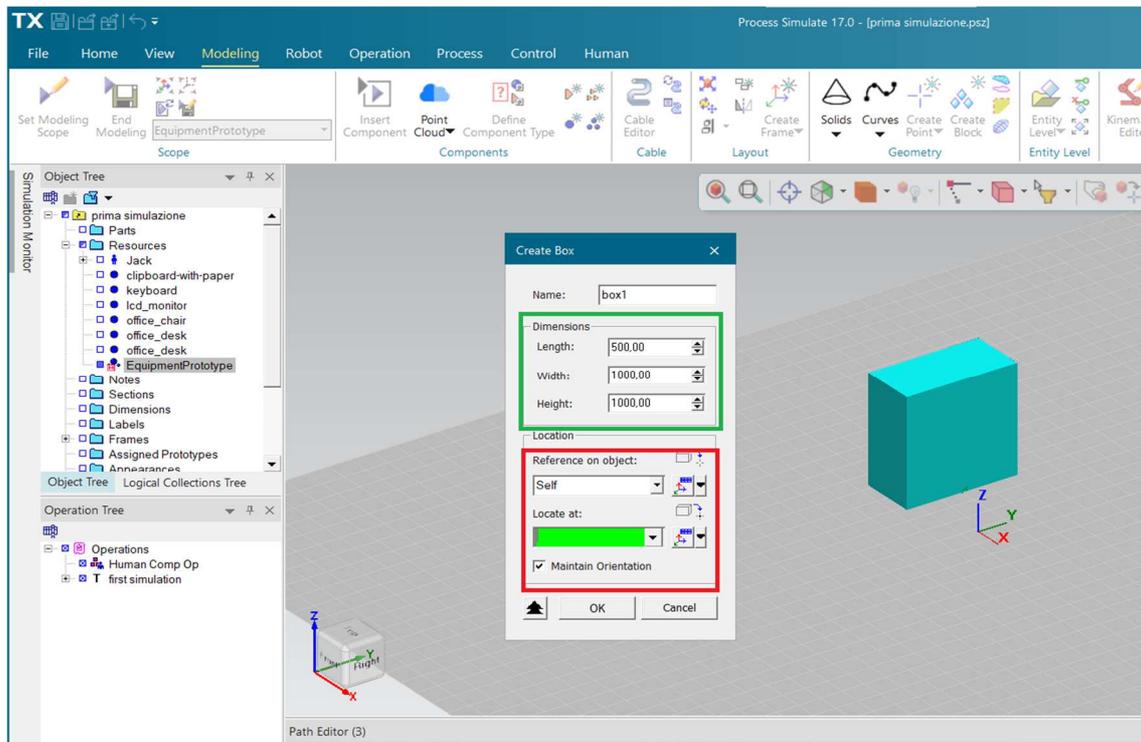


Figura 44 - Comandi di modellazione di solidi.

Dalla tendina di figura 44 sarà possibile stabilire le dimensioni dell’oggetto solido andando a modificare altezza, larghezza e lunghezza (riquadro verde); nella sezione “location” della finestra (riquadro rosso) sono presenti i comandi per posizionare l’elemento nello spazio cliccando semplicemente nella zona desiderata sullo schermo, aiutandosi con la griglia, oppure facendo riferimento a “Frame” esistenti.

Terminate le operazioni di modellazione e orientamento basterà cliccare “ok” per avere il solido desiderato. Il box ottenuto, denominato “box1” come mostra figura 44, verrà mostrato nell’Object tree sotto “Equipment Prototype” (figura 45).

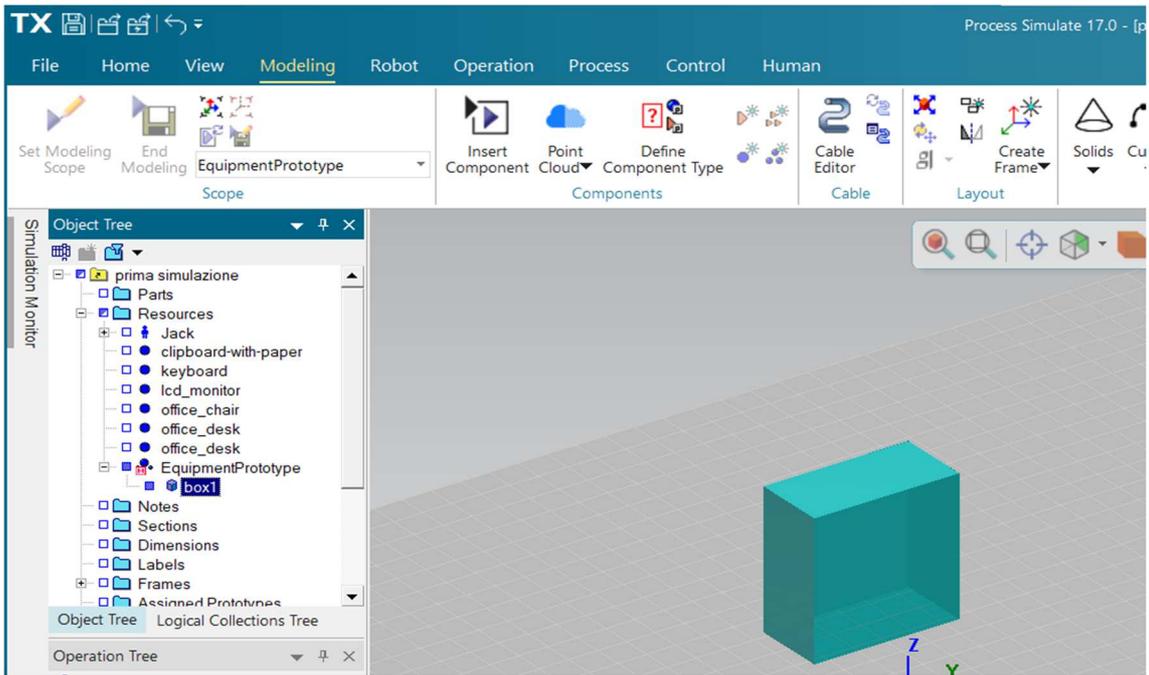


Figura 45 - Collocazione degli elementi creati nell'Object tree.

La risorsa è ancora in via di modifica poiché, come detto precedentemente, vicino “Equipment Prototype” vi è una piccola icona rossa visibile anche in figura 46 (in nero).

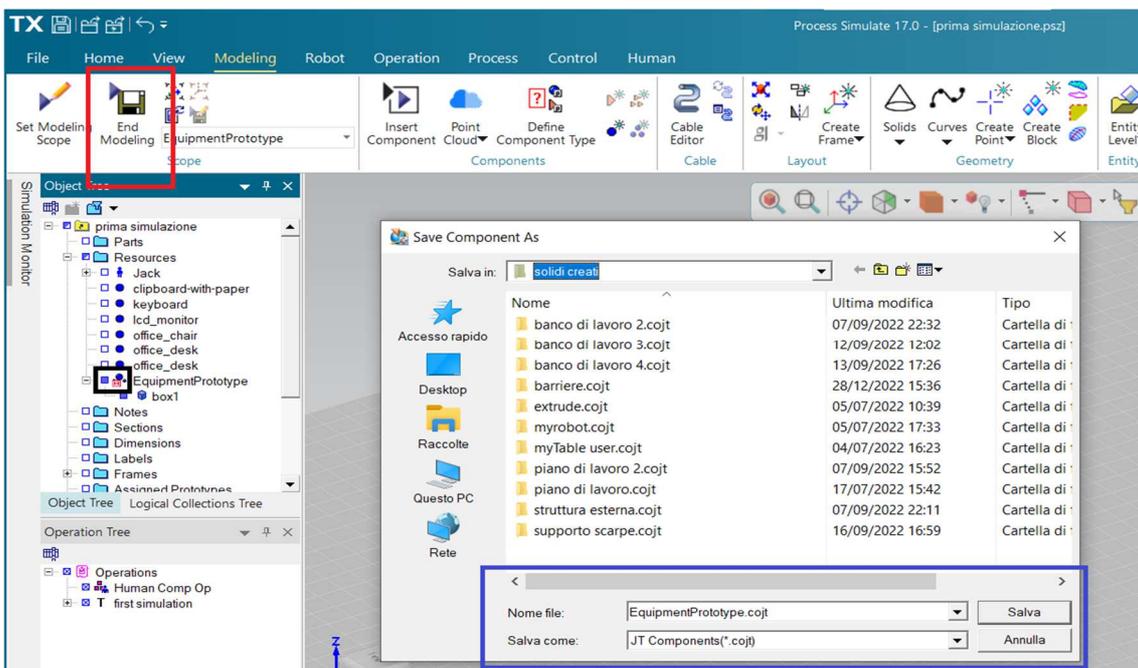


Figura 46 - Procedura di definizione e salvataggio della risorsa creata.

Se la risorsa è terminata, e non necessita più di modifiche, basterà selezionarla, poi scegliere “End Modeling” (evidenziato in rosso) e verrà mostrata la finestra di figura 46 che permette di salvare l’elemento creato (in questo caso la risorsa contenente il Box1) in formato “.cojt”, come mostra il riquadro blu. Questa procedura ha permesso di generare un vero e proprio elemento da inserire nella libreria del software per poter essere utilizzato nelle simulazioni o per altri cinematismi.

È importante sottolineare questa sequenza di azioni, che permette di costruire solidi (quindi risorse), dato che sono gli stessi step da me seguiti *per creare il banco di lavoro della nuova postazione di lucidatura*; attraverso sottrazioni e unioni booleane (comandi visibili in figura 43) di geometrie diverse è stato ideato il layout che ospiterà la collaborazione uomo-robot.

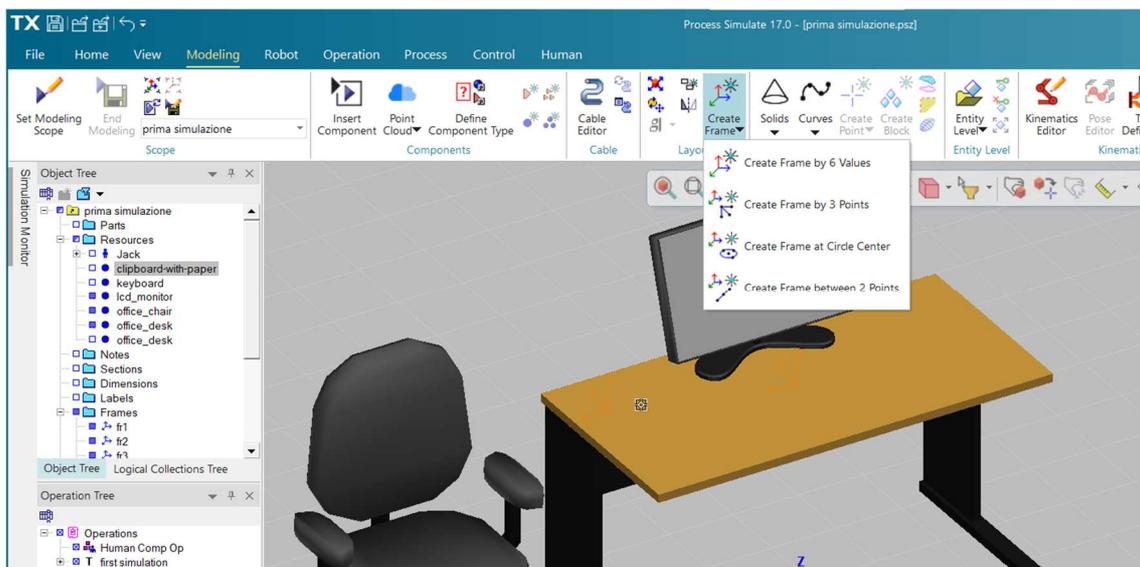


Figura 47 - Opzioni di creazione di frame.

Di fondamentale rilevanza è la creazione di **frame** che sono, in maniera sintetica, terne di assi che si intersecano perpendicolarmente in un punto, nonché l’origine. Quest’ultimo individua la posizione del frame mentre gli assi ne determinano l’orientazione. Per creare questo sistema di 3 assi vi sono diverse possibilità, come mostra figura 47: “Modeling”, sezione “layout” e infine comando “Create Frame” con la tendina sottostante che presenta diverse modalità di creazione dell’elemento.

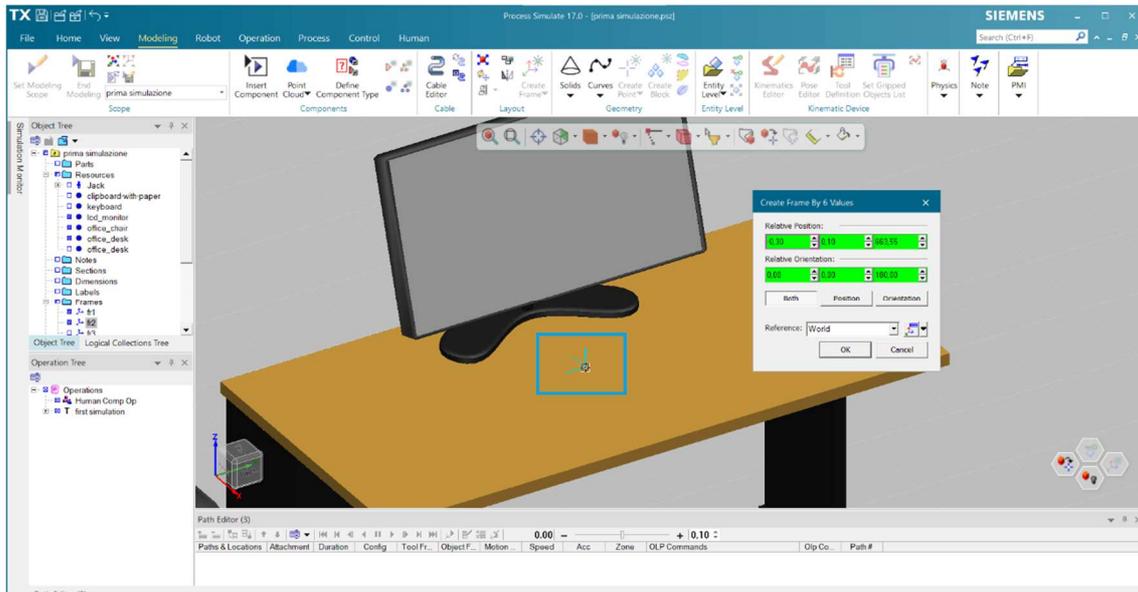


Figura 48 - Menù di creazione di frame attraverso 6 valori.

“Create Frame By 6 Values”, per citarne una, permette di individuare il frame nello spazio attraverso 6 coordinate, 3 di posizione e 3 di rotazione. Figura 48 mostra il menù con cui variare i parametri del frame: per renderlo visibile è stato creato il sistema ad assi nella superficie della scrivania, evidenziato in azzurro; la finestra mostra le coordinate corrispondenti.

Il frame risulta particolarmente utile durante le simulazioni poiché permette di individuare i punti di interesse nell’ambiente virtuale: se si volesse spostare un elemento da un punto all’altro nello spazio basterà creare il frame nel luogo di destinazione ed usarlo come riferimento; oppure se l’umano dovesse raggiungere un determinato punto sarà sufficiente segnalare l’arrivo con il frame e l’operazione si facilita notevolmente.

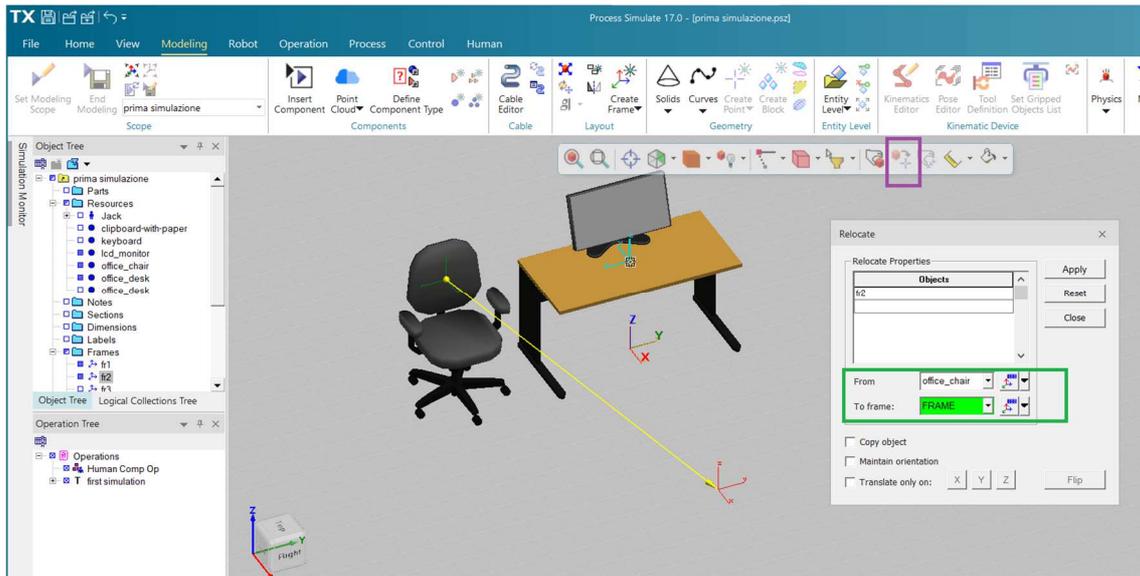


Figura 49 - Esempio di come utilizzare i frame per spostare elementi.

Figura 49 mostra un esempio di come utilizzare questi “sistemi di riferimento relativi” per spostare un elemento, in questo caso la sedia, da una zona all’altra dell’ambiente virtuale.

Comando “Relocate” riquadrato in viola nella barra strumenti, comparirà poi la finestra che permette di selezionare gli oggetti da spostare (anche più di uno) e nella sezione evidenziata in verde andrà specificato il punto da cui spostare e la zona di destinazione; (nel caso di figura 49) selezionando la sedia in un suo punto qualsiasi potrà essere collocare in corrispondenza del frame (è ben evidente la direzione, e il verso, di spostamento chiarita dalla freccia gialla).



Figura 50 - Sezione human del programma.

Di notevole importanza è la sezione “Human” del programma garantisce lo sviluppo di simulazioni realistiche di azioni umane.

Figura 50 mostra come si presenta la parte “Human” e quali funzioni sono disponibili (solo alcune verranno citate). Il comando “Human Proprieties” permette di cambiare in corso d’opera le caratteristiche dell’umano; nella sezione “simulate” vi è il comando “**Task Simulation Builder**” che permette di creare le azioni della simulazione. La sezione “Analyze” è dotata di comandi di visualizzazione: è possibile visualizzare ciò che vede l’operatore nell’ambiente di lavoro, a tutti gli effetti un Point Of View (POV), oltre ad altre funzioni complesse.

La voce “Ergonomics” contenente gli strumenti di analisi e verifica.

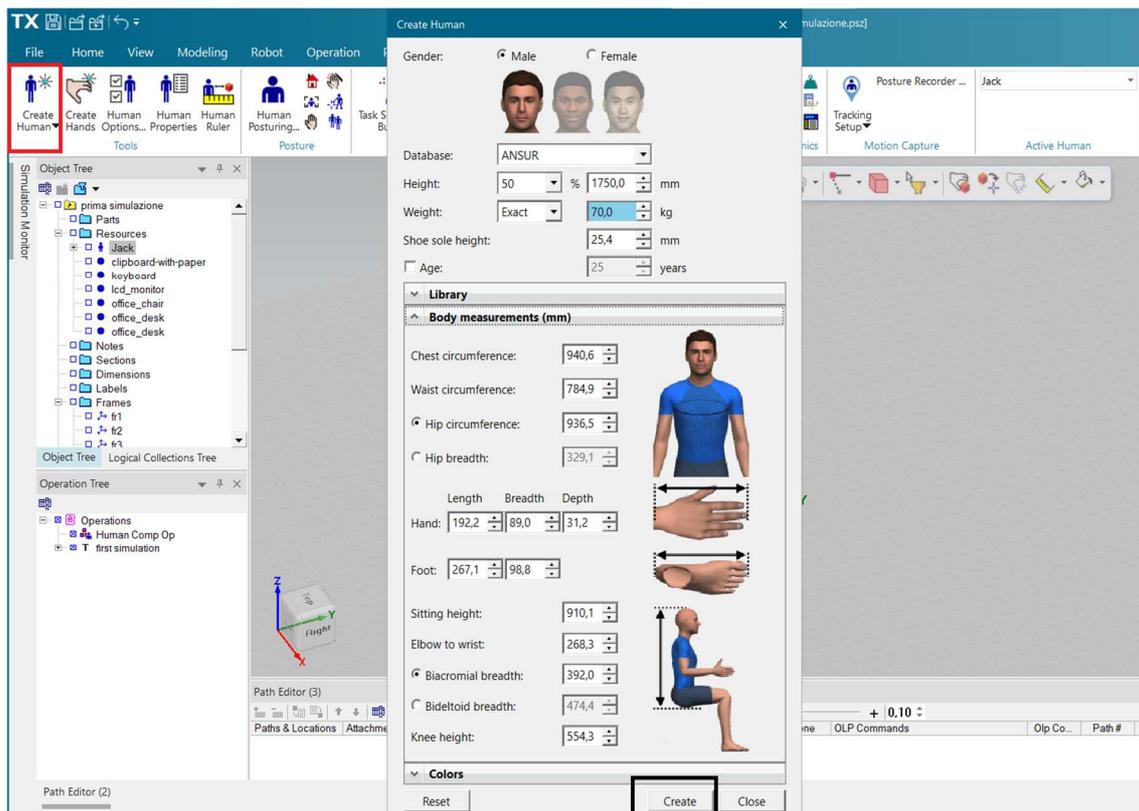


Figura 51 - Settaggio dati antropometrici.

Il comando “Create Human” in rosso in figura 51 consente di modificare e settare in vario modo i dati antropometrici dell’umano che verrà creato e posizionato all’interno

dell'ambiente virtuale. Il menù che appare cliccando il comando citato permette di variare anche i parametri di mani e piedi, oltre a garantire la scelta del sesso, età, altezza, i colori del vestiario e altro. La dicitura “library” della finestra (sempre di figura 51) dà la possibilità di inserire umani contenuti in cataloghi con caratteristiche corporee ben definite.

Infine, cliccando “Create” (in nero) la persona verrà collocata nello studio e nell'object tree, con la garanzia di poterla disattivare o attivare in base alle evenienze.

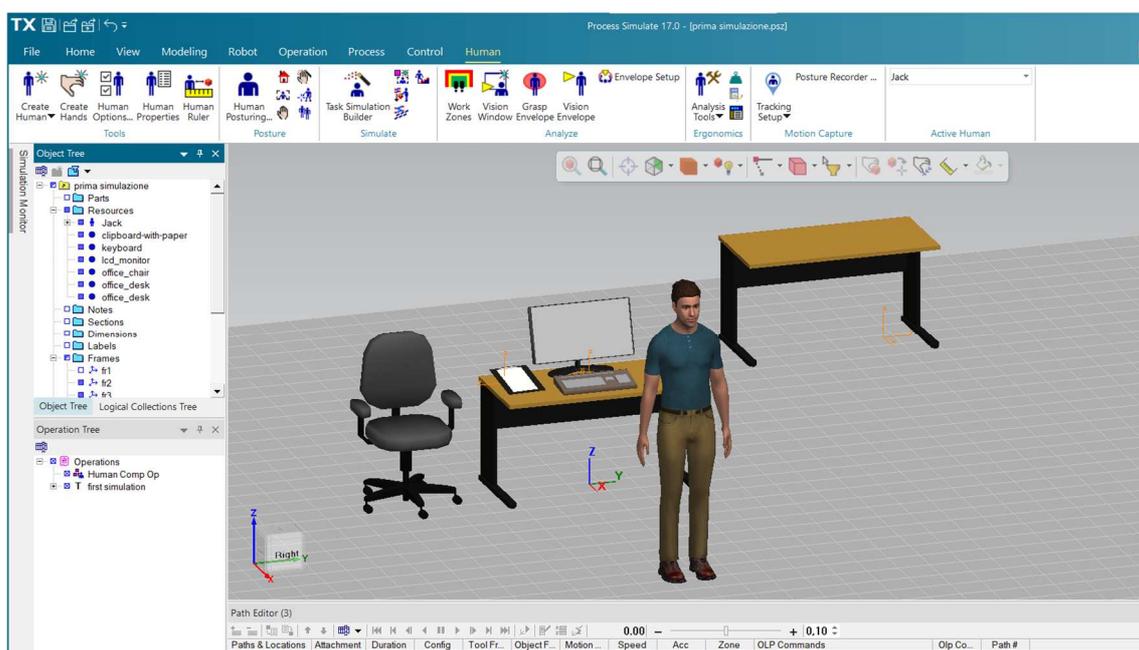


Figura 52 - Rappresentazione grafica dell'umano.

Figura 52 mostra come viene raffigurato l'uomo nell'ambiente 3D di simulazione; inoltre, compare anche nell'Object tree con il nome “Jack” (scelto per questo esempio).

Sono inseriti anche altri dispositivi, visibili graficamente nello studio e nelle risorse, utili ad illustrare come si impostano le simulazioni: a Jack saranno conferiti gli input per spostare la tastiera del PC (su cui è disposto un frame) dalla scrivania in cui si trova al banco retrostante. Rilasciata la tastiera a destinazione sarà ordinato alla persona di sedersi nella sedia raffigurata.

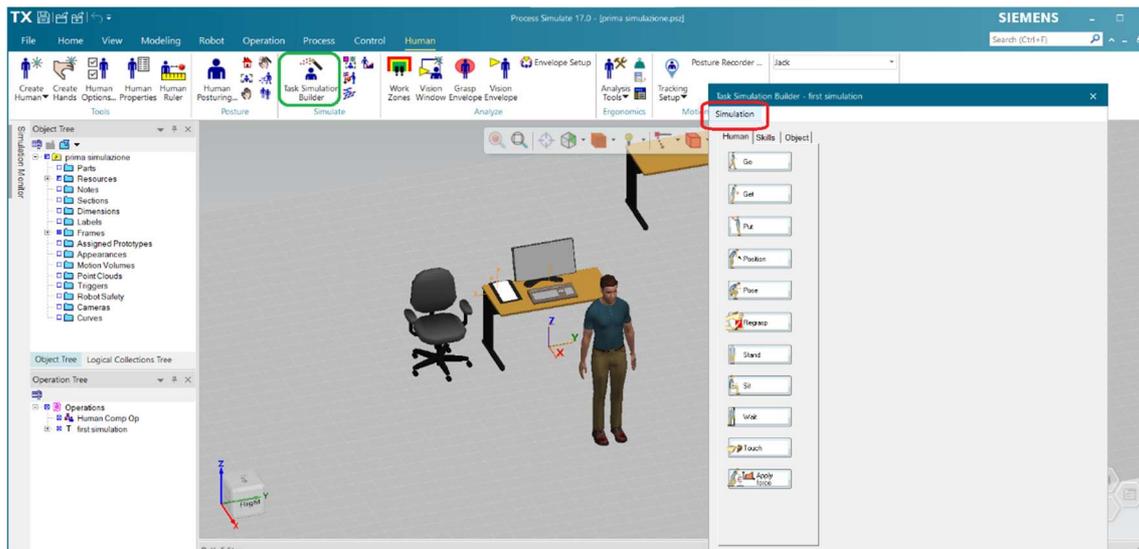


Figura 53 - Esempio di simulazione.

Per poter creare la simulazione fatta dall'uomo è necessario, anzitutto, selezionare il comando cerchiato in verde (figura 53) chiamato "Task Simulation Builder" che genererà la finestra mostrata in cui compaiono le azioni che può svolgere l'uomo. Sono diversi gli atti consentiti: andare, prendere, posizionare, afferrare, aspettare, sedersi, toccare e altre. Prima ancora di selezionare l'azione è fondamentale individuare gli ostacoli che la persona dovrà evitare. Basterà selezionare il comando "Simulation" rimarcato in rosso nella finestra di figura 53, poi comparirà un'ulteriore finestra in cui optare per "Manage Walk Obstacles".

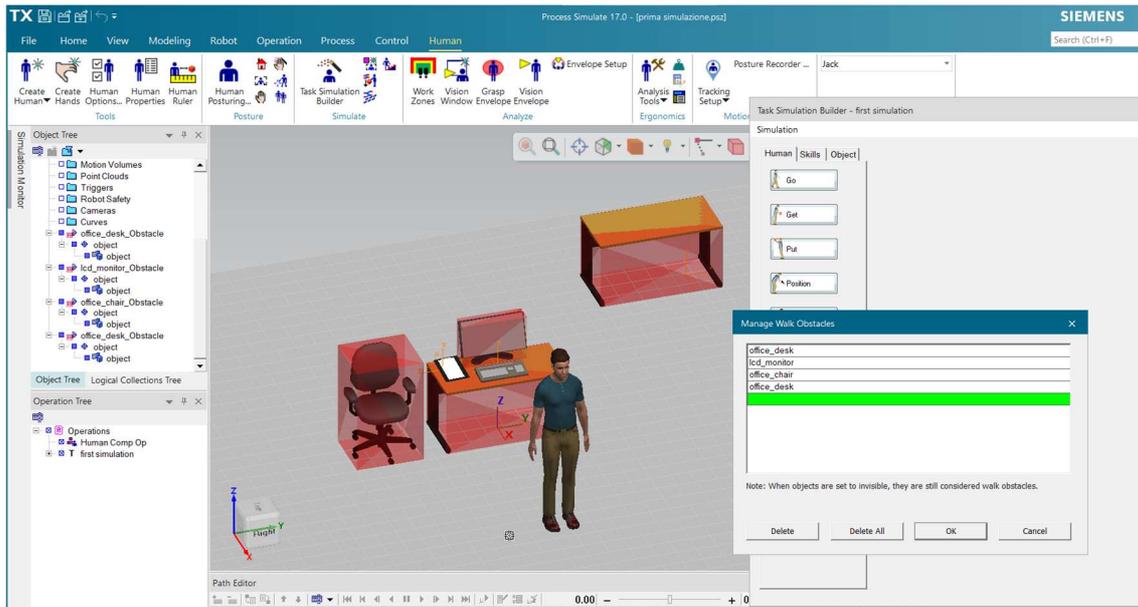


Figura 54 - Menù di definizione degli ostacoli

La scelta della voce appena definita aprirà la finestra di figura 54 nella quale inserire gli ostacoli su cui l'umano non potrà camminare durante la simulazione. Nel caso di questo esempio sono inseriti tra gli elementi di ostruzione la sedia, le due scrivanie e lo schermo del PC: essi compariranno nel menù e anche la rappresentazione grafica cambierà dal momento che gli oggetti saranno circoscritti da parallelepipedi di colore rosso, evidenti in figura 54. Infine, selezionando "Ok" viene confermata l'operazione.

Jack ora prenderà la tastiera che si trova dietro di lui rispetto a come è posizionato in figura 54: imponendo il comando "Get" della finestra, le operazioni di voltarsi e dirigersi verso l'oggetto d'interesse verranno compiute automaticamente senza doverle specificare.

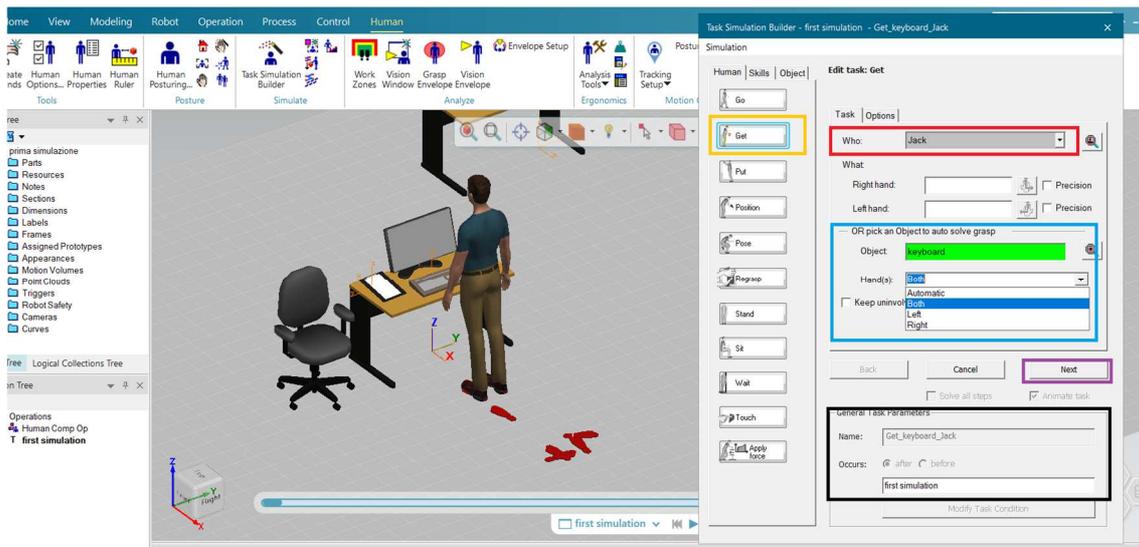


Figura 55 - Menù di impostazione dell'operazione "Get".

Selezionato quindi il comando, marcato in giallo in figura 55, appariranno le impostazioni che permetteranno di compiere l'azione di "prendere" ("Get"). Sono evidenziate le parti più importanti: in rosso vi è la sezione di scelta degli umani presenti, Jack in questo caso; in azzurro la porzione dedicata all'oggetto da afferrare in cui è possibile specificare se utilizzare entrambe le mani o solo una (e quale delle due).

In nero è messa in evidenza la parte in cui è possibile scegliere il nome da conferire all'operazione e sotto che sezione inserirla dell'Operation tree. Premendo il tasto next (in viola), per confermare i settaggi, la finestra cambierà aspetto (figura 56).

Figura 55 mostra bene, nell'ambiente virtuale, le impronte dei piedi che delineano il percorso seguito da Jack per raggiungere l'oggetto imposto, passando quindi dalla posizione di figura 54 alla configurazione attuale.

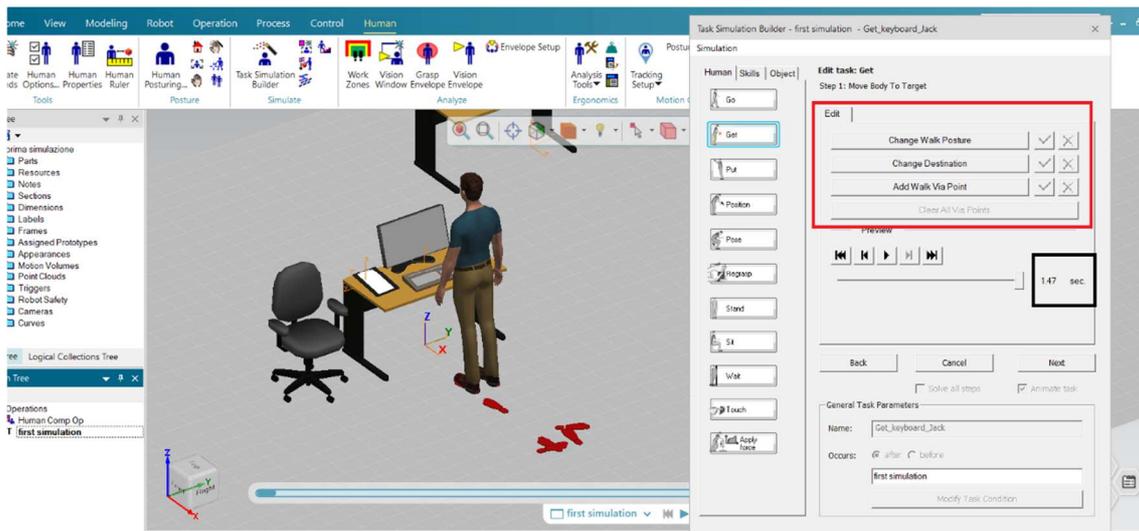


Figura 56 - Menù di impostazione dell'operazione "Get".

La finestra di figura 56 riassume le operazioni scelte mostrando anche la simulazione nello studio, motivo per il quale sono presenti i comandi di controllo video ed è specificato anche il *tempo impiegato per svolgere l'azione*, marchiato in nero. La sezione rossa è dedicata all'Edit: si può scegliere un percorso alternativo per raggiungere l'oggetto con "Add Walk Via Point", oppure cambiare la postura della camminata con "Change Walk Posture". Cliccando "next" la finestra cambierà ancora aspetto (figura 57) e la persona si abbasserà per prendere la tastiera con entrambe le mani, come imposto in precedenza.

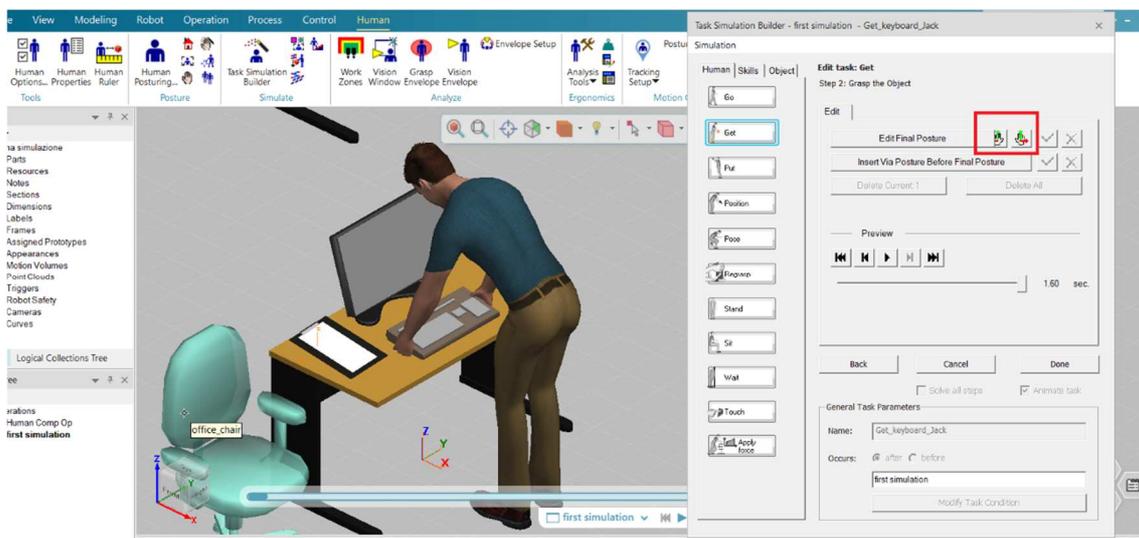


Figura 57 - Menù di impostazione dell'operazione "Get".

Questa nuova impostazione della finestra contiene funzioni di settaggio della configurazione delle mani, dando quindi la possibilità di scegliere il modo di afferrare l'oggetto.

Cliccando una delle due icone riquadrate in rosso in (figura 57) apparirà un nuovo menù oltre ad un sistema di riferimento coincidente con la mano (figura 58).

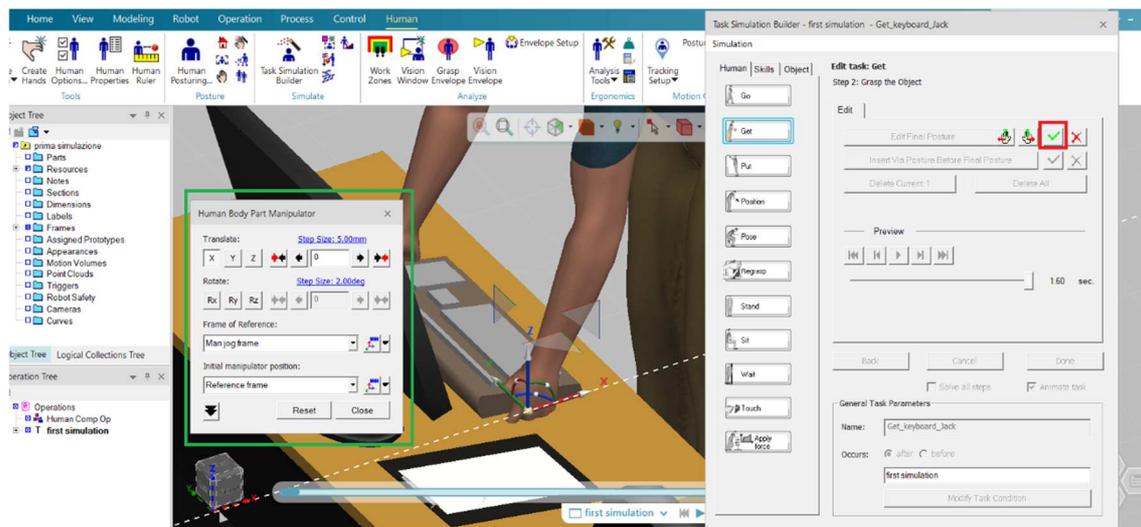


Figura 58 – Menù di impostazione dell'operazione "Get"; in particolare, sezione dedicata alle mani.

Per applicare variazioni all'estremità dell'arto selezionato si possono utilizzare direttamente gli assi del sistema di riferimento trascinandoli, oppure la finestra evidenziata in verde (figura 58). Portate a termine le modifiche basterà cliccare la spunta verde riquadrata, in rosso, per confermarle.

Con il tasto "Done" viene convalidata questa prima task dell'uomo tornado alla finestra di figura 53 in cui sono elencate le azioni possibili.

L'operazione successiva prevede di raggiungere la scrivania in cui porre la tastiera: l'azione è definita "Go" nell'elenco.

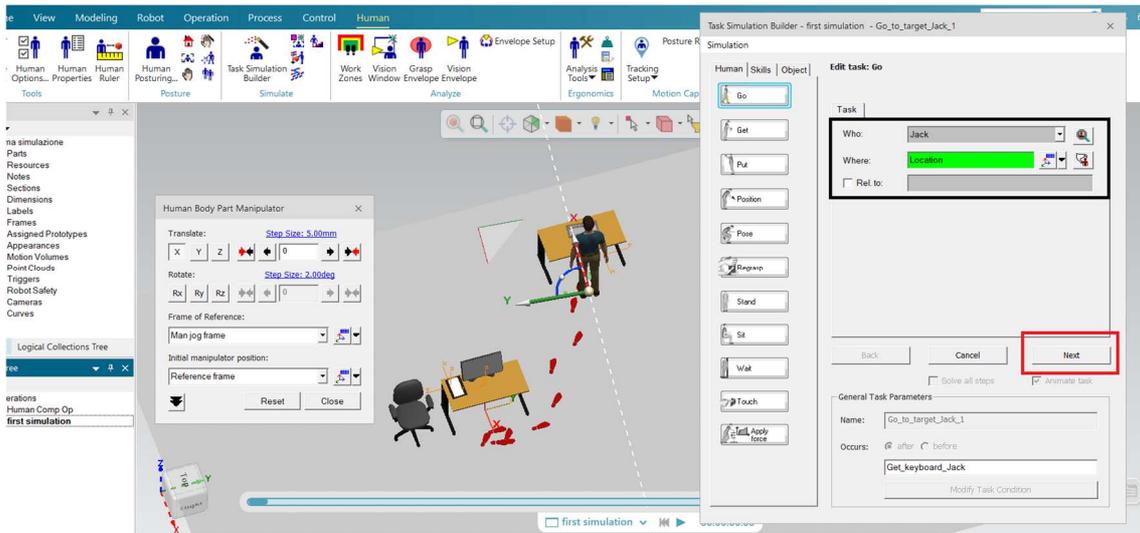


Figura 59 – Menù di impostazione dell'operazione "Go".

Figura 59 presenta i settaggi dell'operazione "andare" ("Go"): la porzione riquadrata in nero richiede di indicare "Who" e "Where", letteralmente "chi" (Jack) e il "dove" che viene specificato con la finestra a sinistra oppure con il sistema di riferimento in corrispondenza dell'umano; cliccando "Next", in rosso, si ha la conferma dell'operazione con conseguente cambiamento delle opzioni nel menù (figura 60). Ovviamente lo spostamento avverrà insieme agli oggetti selezionati nell'operazione precedente "Get"; quindi, anche la tastiera si muove con Jack.

Inoltre, le orme mostrano quale sarà il percorso di raggiungimento della destinazione.

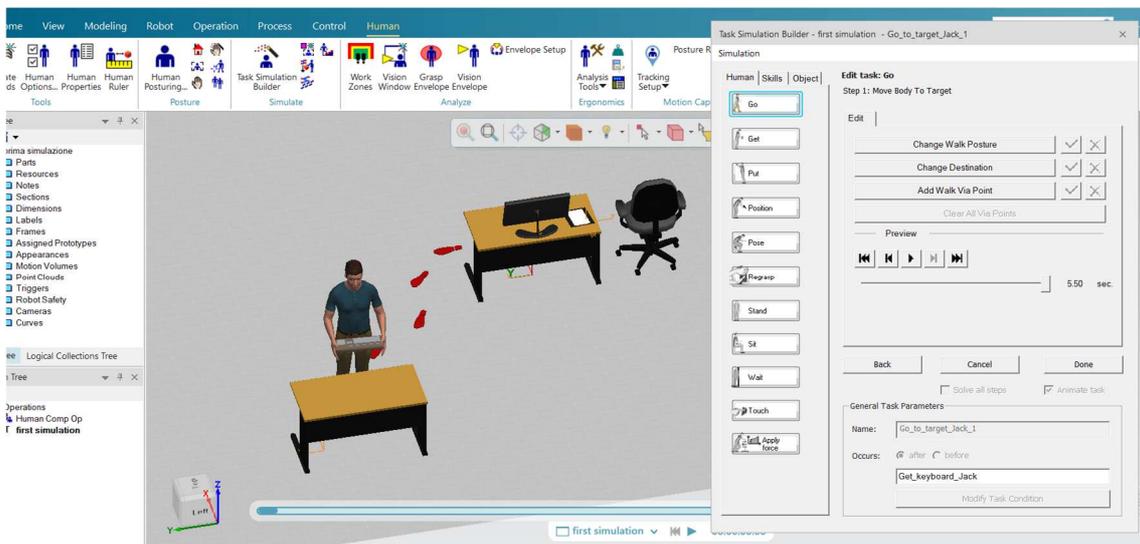


Figura 60 - Menù di impostazione dell'operazione "Go".

I settaggi del menù di figura 60 sono uguali alle voci della finestra in figura 56 dell'azione "Get", questo per semplificare l'interfaccia del software e per facilitarne l'utilizzo. È specificato, come prima, il tempo dell'azione, circa 5,5 secondi per portare l'elemento da una scrivania all'altra.

Il software permette anche di modificare il tempo delle azioni, non per forza bisogna riferirsi ai tempi di default del programma: sarebbe stato possibile impostare che portare la tastiera avrebbe richiesto più, o meno, tempo.

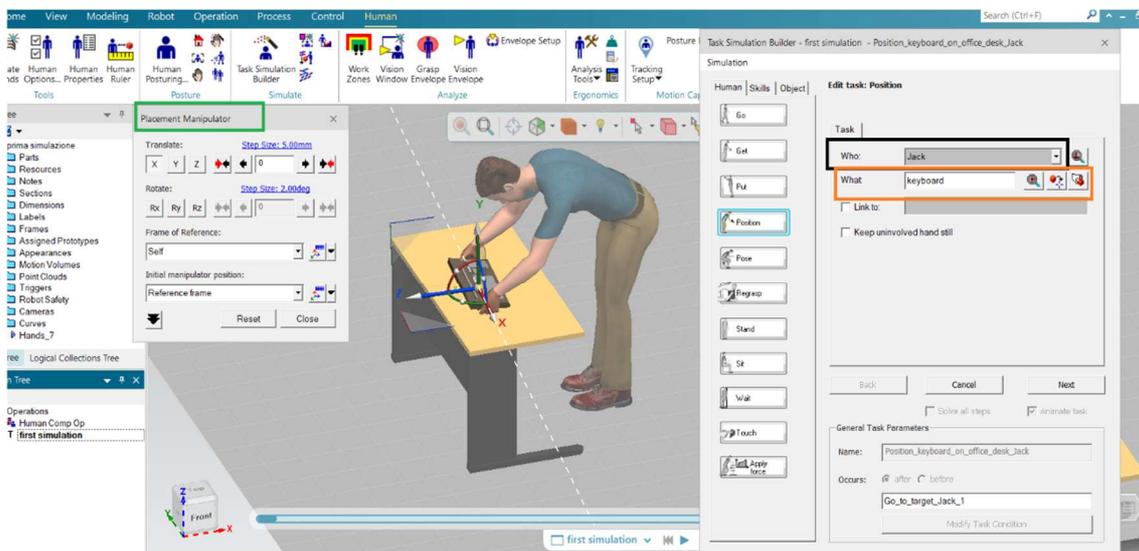


Figura 61 - Menù di impostazione dell'operazione "Position".

È il momento di posizionare l'oggetto con il comando "Position" in cui va specificato l'individuo (riquadro nero), e che cosa (riquadro arancione): la selezione di quest'ultima opzione farà apparire il solito menù denominato "Place Manipulator" (in verde) con il sistema di riferimento corrispondente, situato al centro dell'oggetto da posizionare (figura 61). È visibile, inoltre, la postura che assume Jack nel collocare la tastiera.

Cliccando "Next" una volta impostate le opzioni si giungerà ad una finestra, molto simile a quella di figura 60, in cui vi è la possibilità di modificare la postura dell'umano.

Portata a termine anche questa task è il momento di settare il rilascio con il comando "Put" poiché "Position" assicura solo la sistemazione nello spazio. Le impostazioni e

dell'azione "Put" sono identiche a quelle appena viste con "Position", motivo per il quale è ridondante mostrare le immagini corrispondenti.

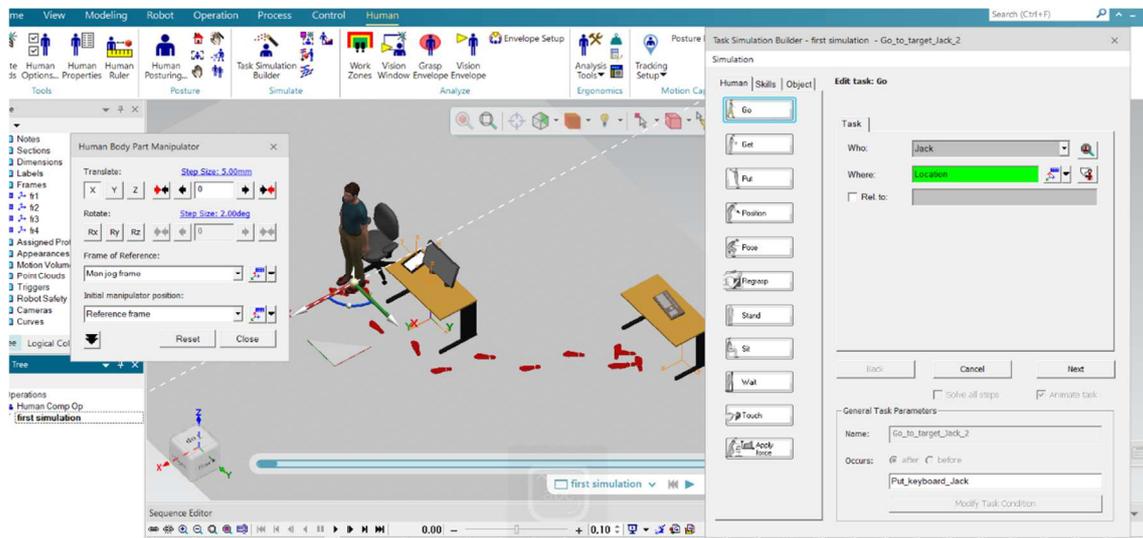


Figura 62 - Menù di impostazione dell'operazione "Go".

Di nuovo comando "Go" per raggiungere l'elemento di seduta mostrato in figura 62 in cui è ben evidenziato il percorso seguito.

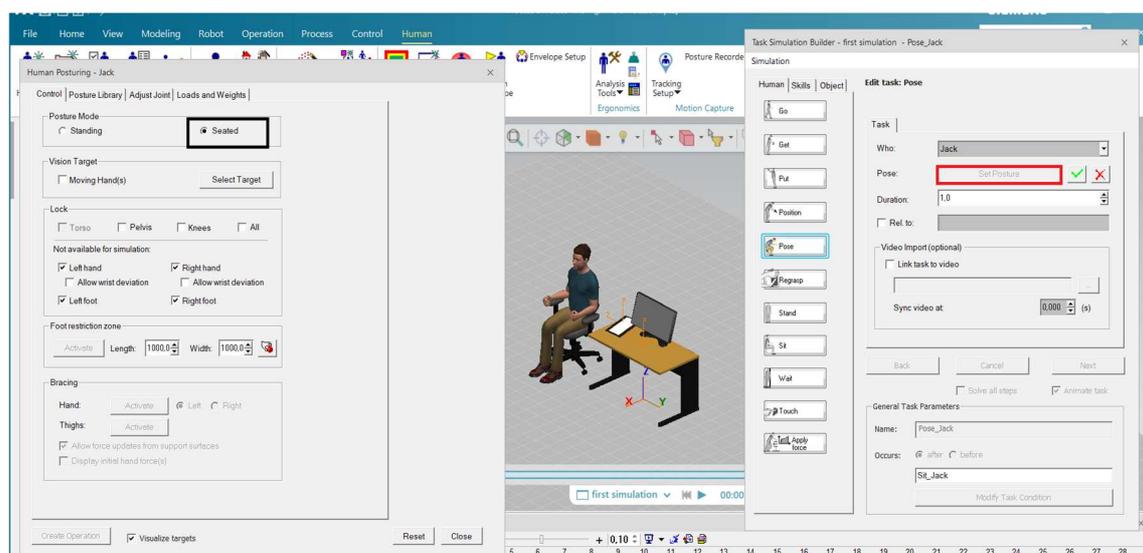


Figura 63 - Menù di impostazione dell'operazione "Pose".

L'ultima task è definita dal comando "Pose" che è l'input da conferire a Jack per far sì che possa assumere la configurazione desiderata. Comando "Pose", selezionare il tasto marcato in rosso: apparirà la finestra a sinistra in figura 63 nella quale, cliccando la voce evidenziata in nero, viene specificata la posizione richiesta.

In questa sezione può essere precisata anche la durata della permanenza nella posizione impostata.

Figura 64 mostra l'Operation Tree (in blu) che contiene al proprio interno i task svolti dall'umano in ordine cronologico.

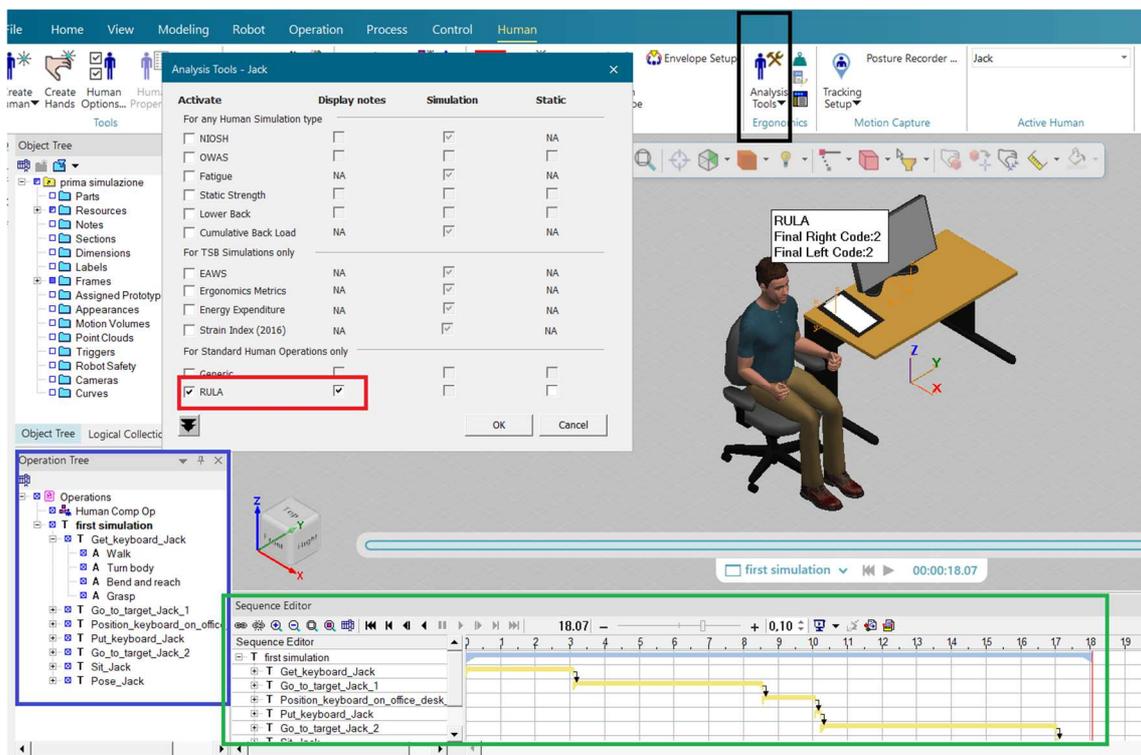


Figura 64 - Menù di impostazione delle analisi.

Gli strumenti di analisi sono selezionabili nel menu principale "Human", poi "Analysis Tools" riquadrato in nero, nella tendina che si presenterà selezionare nuovamente la voce "Analysis Tools". Questa procedura aprirà la finestra in figura 64 che contiene al proprio interno le diverse analisi da poter effettuare: per questo esempio è stata evidenziata (in

rosso) la RULA e spuntando la casella in corrispondenza di “Display Notes” apparirà al di sopra di Jack il riquadro con i valori per entrambi gli arti.

Il “Sequence Editor”, di figura 64 rimarcato in verde, mostra i task generati in ordine cronologico con il tempo di svolgimento di ognuno di esso; per la simulazione descritta il tempo richiesto per completare tutte i task è di circa 18 secondi, visibile in questa sezione.

Per attivare questa tabella con operazioni e tempi basta cliccare il tasto destro nell’Object tree in corrispondenza della voce “First simulation” (che è il nome scelto per la simulazione descritta), tra le opzioni a disposizione scegliere “Set Current Operation” ed ecco che il “Sequence Editor” conterrà la traccia dei task.

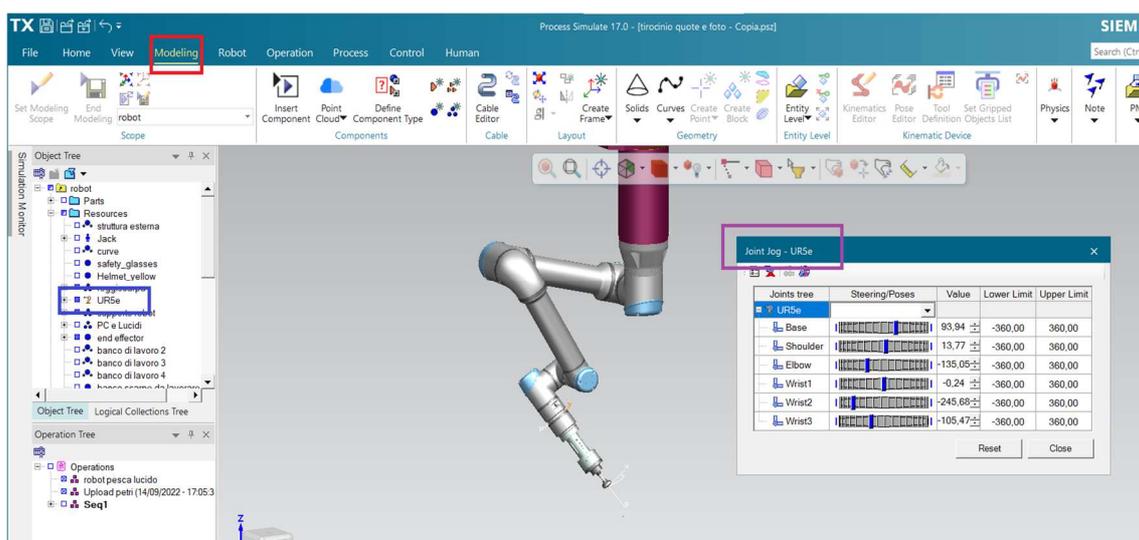


Figura 65 – Selettore di movimento del robot.

Punto di forza del programma è la presenza dei robot con i quali emulare attività di vario tipo. Per rendere più chiaro il funzionamento è stato inserito un robot modello UR5e di universal robot presente nella libreria del programma. Per introdurre l’automa basterà andare nella sezione “Modeling”, in rosso in figura 65, comando “Insert Component” ben visibile e selezionare il dispositivo che si preferisce. Esso verrà visualizzato sia nell’ambiente virtuale che nell’Object Tree (riquadrate in blu) sotto la voce risorse. Nel caso di questo esempio il robot è dotato anche di end effector.

Cliccando il tasto destro del mouse in corrispondenza del robot apparirà la finestra multifunzione con comandi dedicati a questo tipo di dispositivi: scegliendo la voce “Joint Jog” verrà fuori la finestra di figura 65 con cui, attraverso i selettori blu (muovendoli a destra e sinistra), modificare la posizione dei sistemi articolari del robot. Sono specificati tutti i componenti dell’automa che hanno gradi di libertà (quindi possibilità di movimento). I movimenti riprodotti, e consentiti, sono realistici in quanto manovrando i selettori non è possibile giungere a situazioni di contatto tra le parti del robot stesso.

Il programma è molto potente, le funzioni descritte brevemente in questo capitolo sono solo una piccola parte di un sistema avanzato. L’utilizzo del software non è particolarmente intuitivo ma con esercizio ed abitudine si possono ottenere simulazioni con un elevato livello di dettaglio; le analisi, e i tempi, (nonché gli output forniti) sono veritieri e di valore rilevante.

Concludendo, delle numerose opzioni sono state descritte solo le funzioni personalmente utilizzate per simulare la nuova postazione di lucidatura. Nel capitolo 4.3 saranno mostrati i task compiuti nella postazione, senza entrare nel dettaglio dei settaggi e dei comandi per non rendere tedioso e ripetitivo l’elaborato; il focus sarà sui tempi, sulle mansioni svolte e sugli elementi presenti.

4.3 – LAYOUT E SIMULAZIONE DI UNA NUOVA POSTAZIONE

Con l’obbiettivo di affidare il primo step di lucidatura al cobot lasciando il secondo step all’operatore, la postazione di lavoro odierna non è idonea ad accogliere una collaborazione uomo-robot. Con questi presupposti, per questa tesi, è stata ideata una nuova planimetria della postazione del singolo operatore.

La configurazione virtuale pensata ha una struttura diversa dalla attuale avendo un’area dedicata al robot oltre ad una diversa disposizione degli elementi; inoltre, *ogni addetto avrà il suo robot di competenza.*

È doveroso sottolineare già in questa sezione che a causa dei tempi prolungati di *lucidatura da parte del cobot* (stimati dai membri dell’università), *45 minuti circa per una scarpa in prima fase (contro i 7/8 minuti impiegati dall’operatore)*, la produttività

subirebbe un forte decremento rendendo l'implementazione dell'automa sconveniente e priva di senso.

Per non incorrere in questa situazione si suppone di non variare le odierne attività del lavoratore, che continuerà con il ciclo di lucidatura in prima e seconda fase delle calzature seguendo i task elencati nel capitolo 3.1 nello stesso ordine. La novità è data dalla presenza del robot che dovrà essere rifornito con le calzature da lustrare in prima fase. È corretto affermare che **l'addetto svolgerà le stesse mansioni attuali ma con periodicità** in quanto ogni 45 minuti interromperà i suoi compiti per approvvigionare il robot, avviarlo, controllarlo e arrestarlo in caso di anomalie.

Riassumendo, l'automa richiede tre quarti d'ora circa per completare il ciclo di lucidatura terminati i quali interverrà il collaboratore per smontare la scarpa, in parte terminata, e montare la successiva. Questa condizione permetterà un miglioramento dell'ergonomia vista la **diminuzione del tempo netto totale di ciclo per attività ripetitive**, dato che **aumenterà il tempo dedicato ad azioni non ripetitive**.

Il robot, in questo contesto lavorativo, non ha la capacità di sostituire l'uomo ma si aiuteranno reciprocamente per garantire livelli produttivi elevati senza intaccare la qualità degli articoli.

La descrizione della nuova configurazione del reparto inizierà con l'analisi gli elementi presenti e la loro funzione; dopodiché verranno specificati i task svolti.

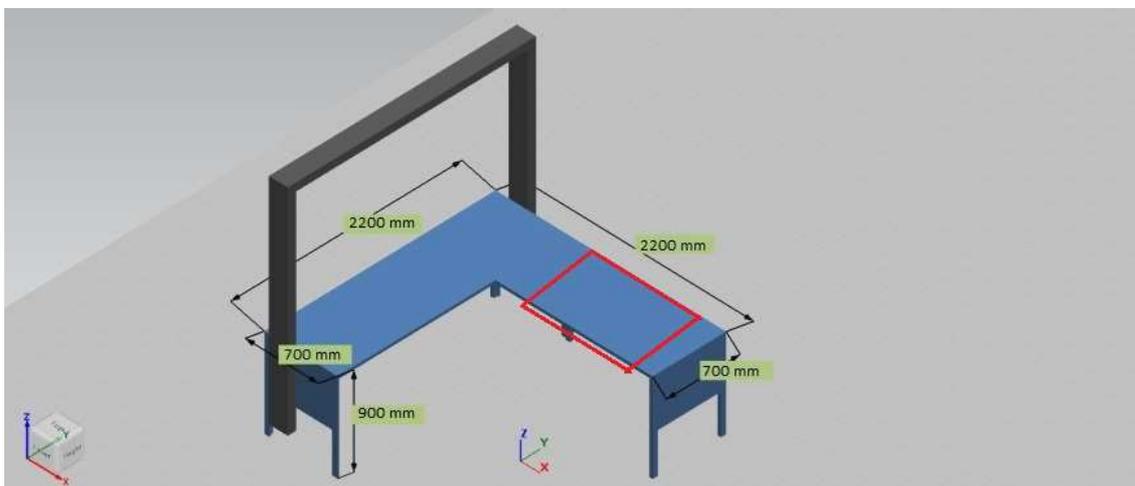


Figura 66 – Nuova postazione con quotatura.

Figura 66 mostra le dimensioni del banco di lavoro che ospiterà robot ed operatore simultaneamente. La zona evidenziata in rosso è la sezione del tavolo dedicata all'attività di lucidatura manuale, svolta quindi dall'uomo che dovrà compiere entrambi gli step della lavorazione. È stata scelta una disposizione di questo tipo in modo da poter permettere all'addetto, *seduto/in piedi* nella sua porzione di spazio, di poter controllare il robot semplicemente voltandosi, senza la necessità di avvicinarsi.

Poiché attualmente gli operai che svolgono la lucidatura sono 11, avendo robot e zona di lucidatura in un unico bancone (tutto racchiuso in un unico volume "virtuale") si evitano situazioni di interferenza tra gli addetti stessi.

Essi devono essere istruiti e formati in modo tale da sapere che non è consentito accedere a postazioni di lavoro che non siano quelle assegnate: ognuno si occupa del proprio robot.

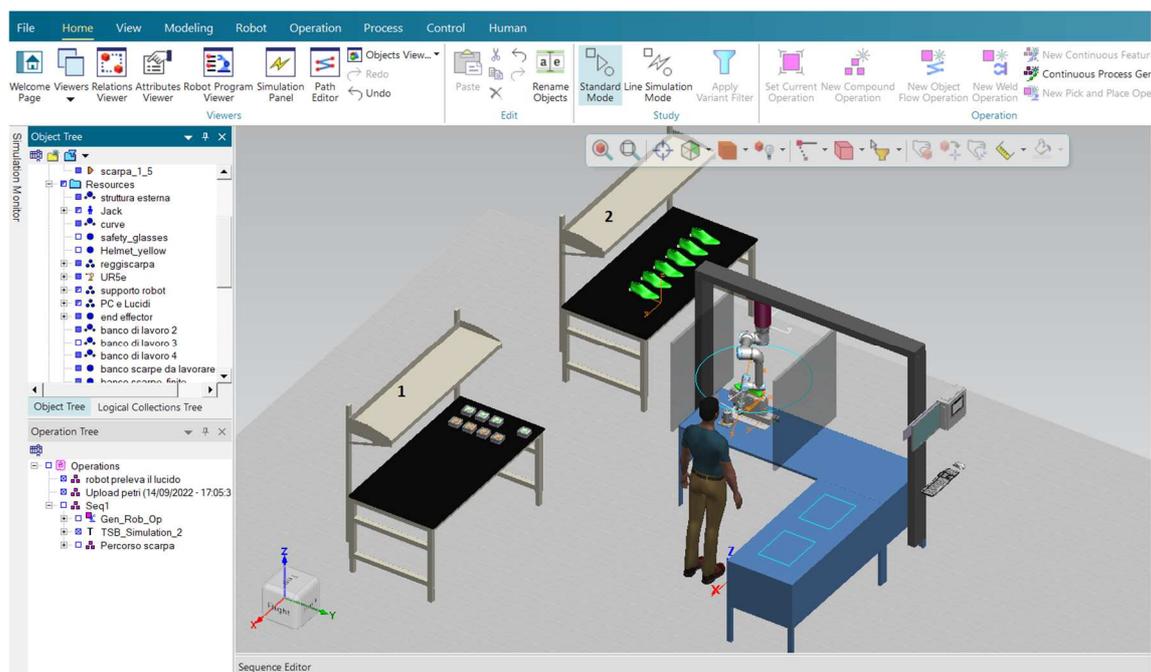


Figura 67 - Rappresentazione globale della postazione.

Globalmente la postazione è strutturata come in figura 67. Il banco blu è destinato alla lucidatura; il robot scelto per le caratteristiche intrinseche che possiede è denominato "UR5e" di fabbricazione Universal Robot.

Adiacente al tavolo di lavoro è posizionato il computer (o tablet) di comando dell'automa: per evitare situazioni pericolose all'avvio del cobot, il PC è stato posto lontano da quest'ultimo mantenendo comunque un buon campo visivo della macchina che lucida.

I banchi di lavoro, numerati nell'immagine, contengono gli elementi di lucidatura, precisamente: il banco 1 è la sistemazione dei lucidi il 2 delle calzature da lucidare.

La struttura esterna, di color grigio, in cui sono ancorati robot e PC ha solo funzione rappresentativa.

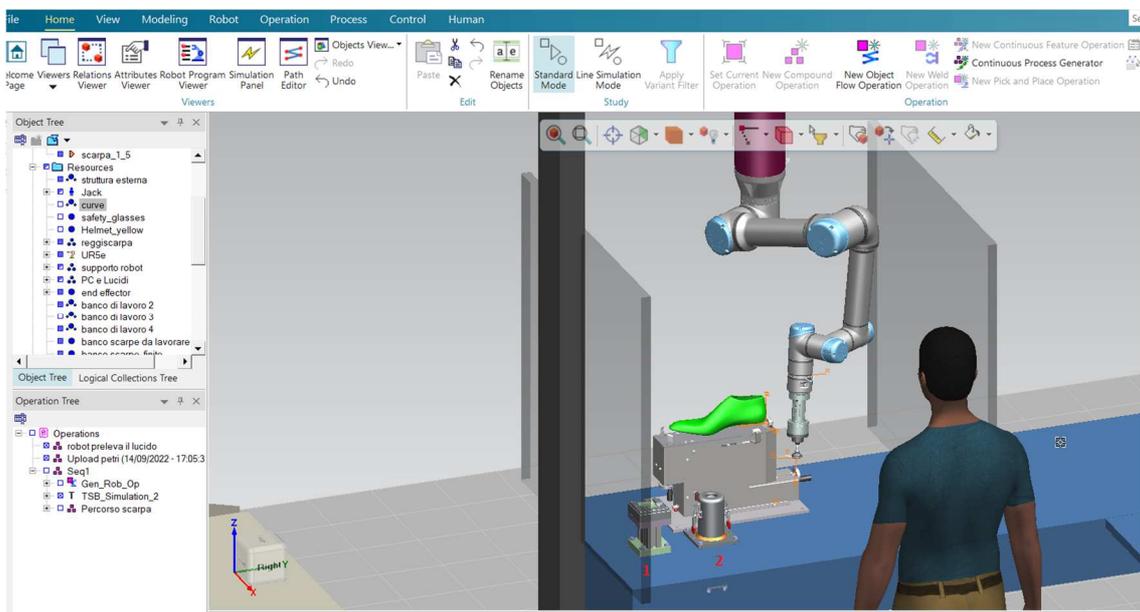


Figura 68 – Dettaglio collocazione del robot.

Analizzando nel dettaglio figura 68, gli elementi in trasparenza posti a fianco del robot sono le barriere che hanno il compito di evitare contatti accidentali (dimensioni: 1200 mm altezza, 1200 mm larghezza, 40 mm spessore).

Il dispositivo con il numero 1 nell'immagine è l'elemento contenente il lucido, il quale verrà prelevato dal robot e inseguito, nell'elemento 2, uniformato per evitare sovradosaggi; ambedue sono stati forniti, dai membri dell'università, in formato “.cojt”. Terminato il lucido utilizzato dalla macchina il congegno 1 dovrà essere approvvigionato, così come il dispositivo 2 una volta raggiunto uno stato inutilizzabile: entrambi gli

apparecchi necessitano di assistenza periodica da parte dell'addetto, *fase che deve essere predisposta quando il robot non è in funzione.*

La calzatura da lustrare, rappresentata in verde, è fissata su un supporto appositamente creato per questo contesto lavorativo (figura 70); è dotato di leve e selettori che permettono un bloccaggio stabile. Anche l'end effector è progettato ad hoc, di cui non sono note informazioni specifiche se non la lunghezza pari a 200mm e un peso di 0,2 kg. Esso è montato nella zona terminale dell'automa (figura 71).

L'elemento di colore viola nella parte alta del robot ha solo funzione rappresentativa.

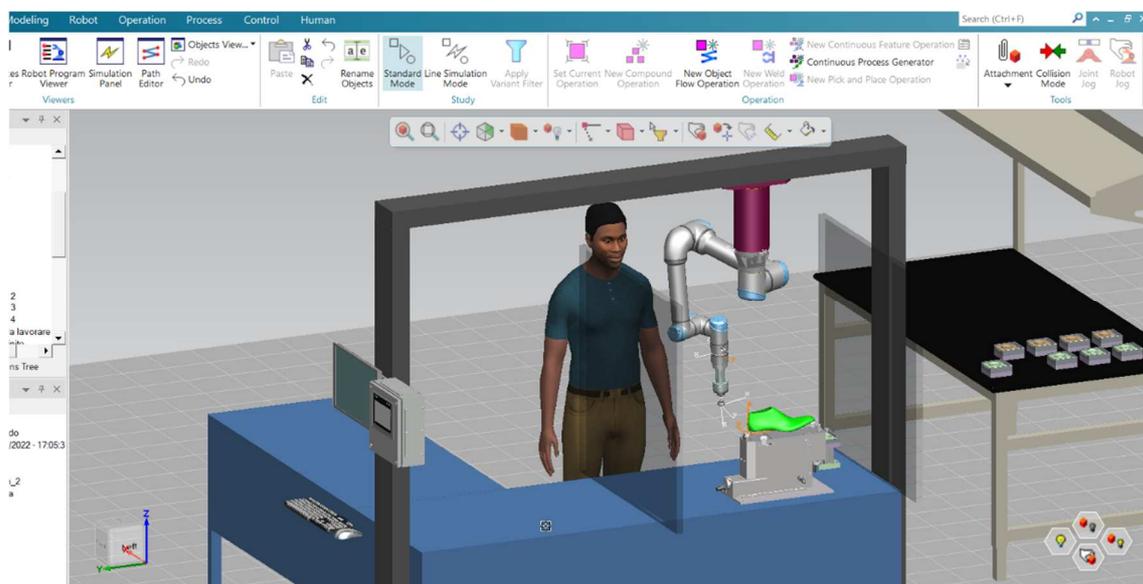


Figura 69 - Dettaglio collocazione robot.

Figura 69 definisce un altro punto di vista della postazione. È necessario precisare che la tesi non è focalizzata ad una simulazione dettagliata in cui gli elementi vengono descritti in maniera accurata: *l'analisi dei tempi e le zone del corpo soggette ad urto sono i punti chiave su cui porre l'attenzione.*

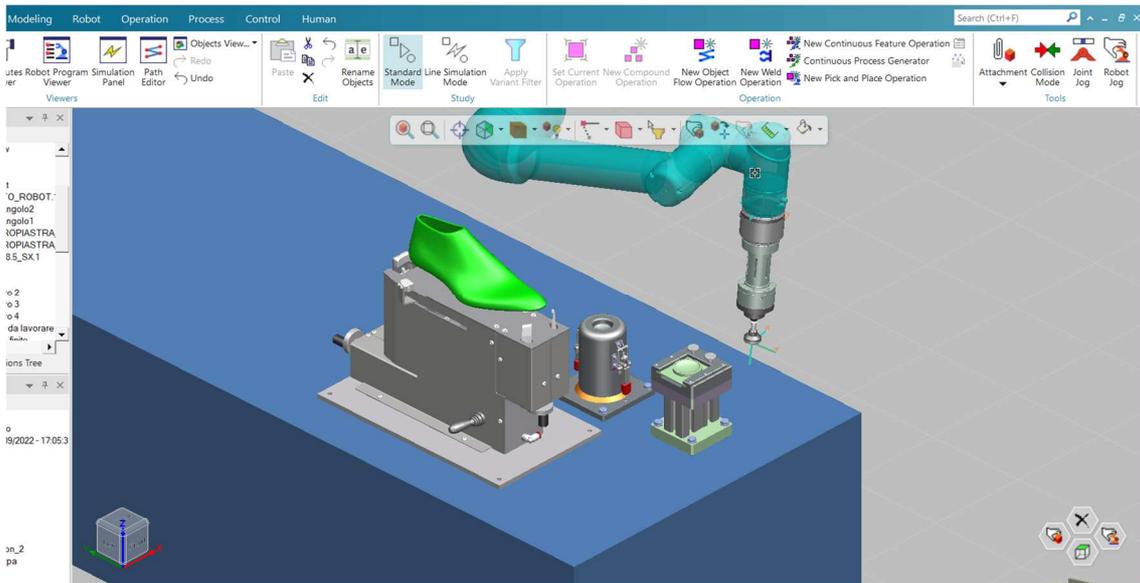


Figura 70 – Dettaglio elementi di lucidatura robotici.

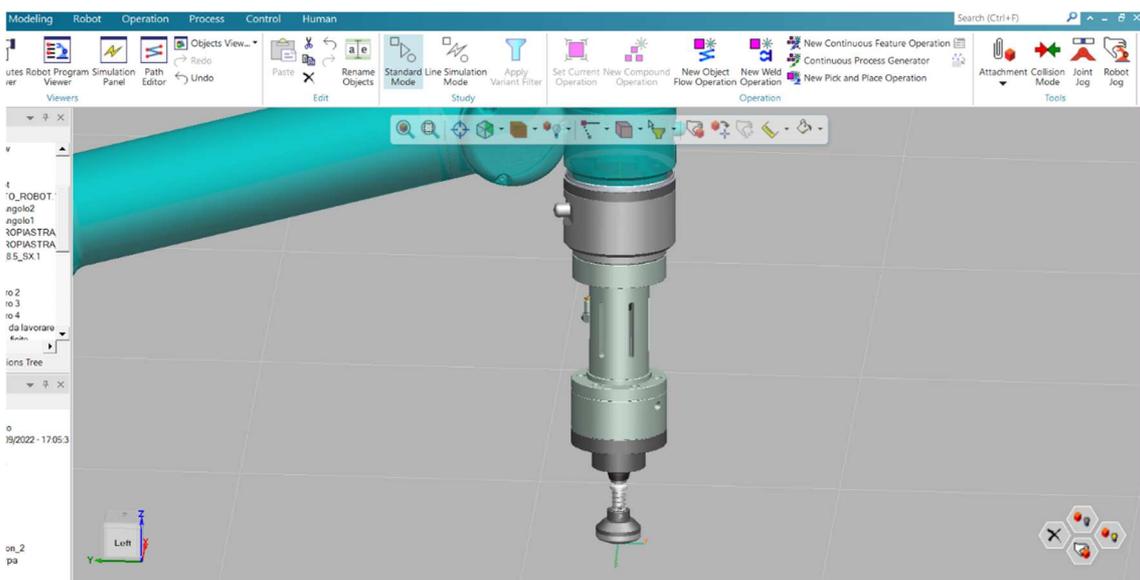


Figura 71 - Dettaglio end effector.

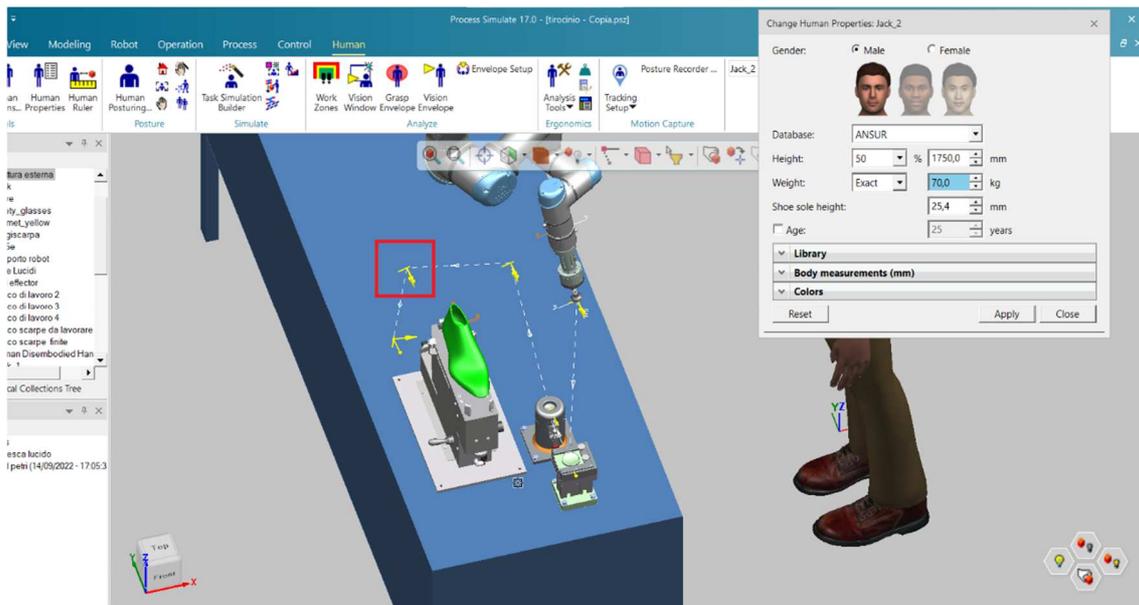


Figura 72 - Dati antropometrici.

In figura 72 sono mostrate le caratteristiche corporee dell'operatore per il quale è stata scelta un'altezza di 1,75 m, di poco superiore alla media mondiale maschile.

Altro aspetto che merita attenzione è il tracciato seguito dal robot durante la fase di prelievo del lucido. Il percorso tratteggiato color bianco (figura 72) con step intermedi rappresentati da piccoli vettori gialli (riquadro in rosso), è impostato in modo tale che il cobot, partendo da una posizione di sicurezza, si diriga prima verso il dispositivo con il lucido, poi verso l'elemento successivo, ed infine si posizionerà in maniera tale da poter effettuare la lucidatura iniziando dal lato esterno della scarpa. L'operazione è presente nell'object tree.

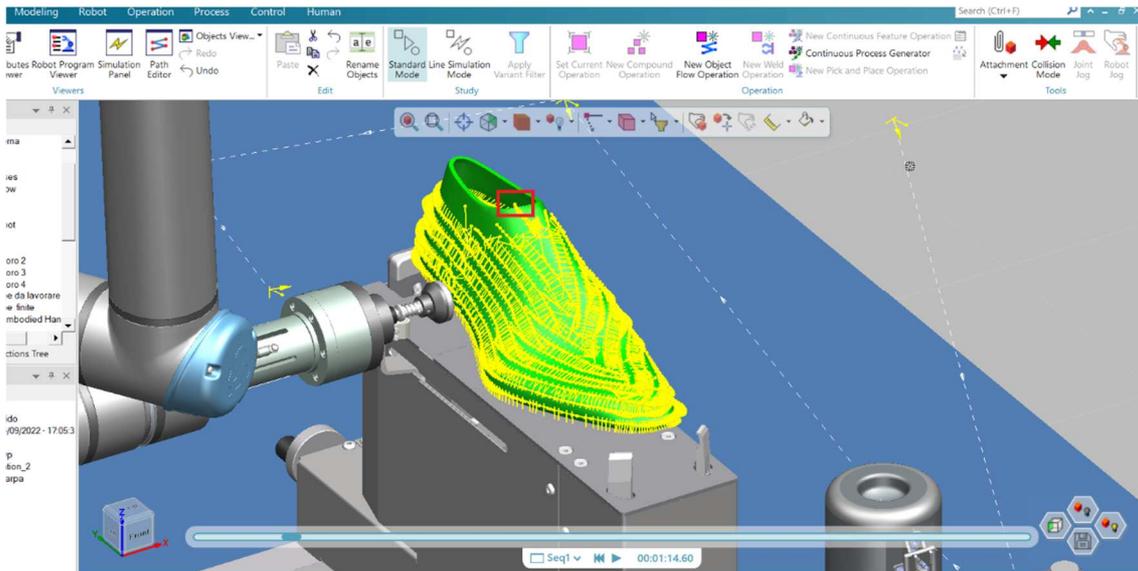


Figura 73 - Traiettoria di lucidatura robotica.

La traiettoria eseguita dall'end effector nella lucidatura, visibile in figura 73 in giallo, è stata caricata dall'esterno nel programma (predisposta dai componenti dell'università). L'immagine mostra la parte di calzatura in cui il cobot inizia la lucidatura fino a giungere nella zona riquadrata in rosso, in cui la porta a termine. Durante il processo l'estremità dell'end effector ruota e trasla senza mai staccarsi dalla scarpa: solo al raggiungimento di configurazioni limite (oltre le quali avverrebbe contatto tra le parti del robot stesso) l'automa si allontana dalla calzatura per poi riprendere l'operazione nel giro di pochissimi secondi.

La lucidatura (in prima fase) avverrà in circa 45 minuti, precisamente in 4 cicli da 10 minuti (e qualche secondo) ciascuno.

La descrizione della simulazione sarà schematica e concisa per non appesantire la lettura.

L'operatore ad inizio processo è ubicato nello stesso luogo di figura 67.

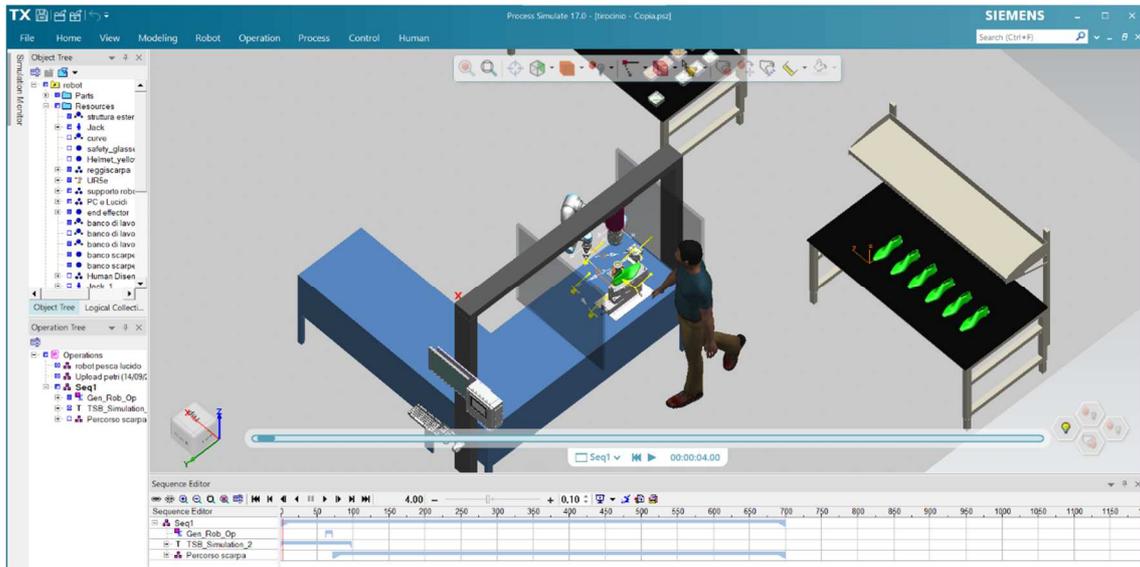


Figura 74 – Task 1 simulazione.

L'addetto si dirige verso il supporto per smontare la calzatura presente (figura 74), operazione eseguibile solo in questa parte del banco poiché i dispositivi di lucidatura a supporto del robot ostruiscono lo scarico dell'oggetto dall'altro lato. Durante questa fase l'automa si trova in posizione di sicurezza, lontano dalla persona.

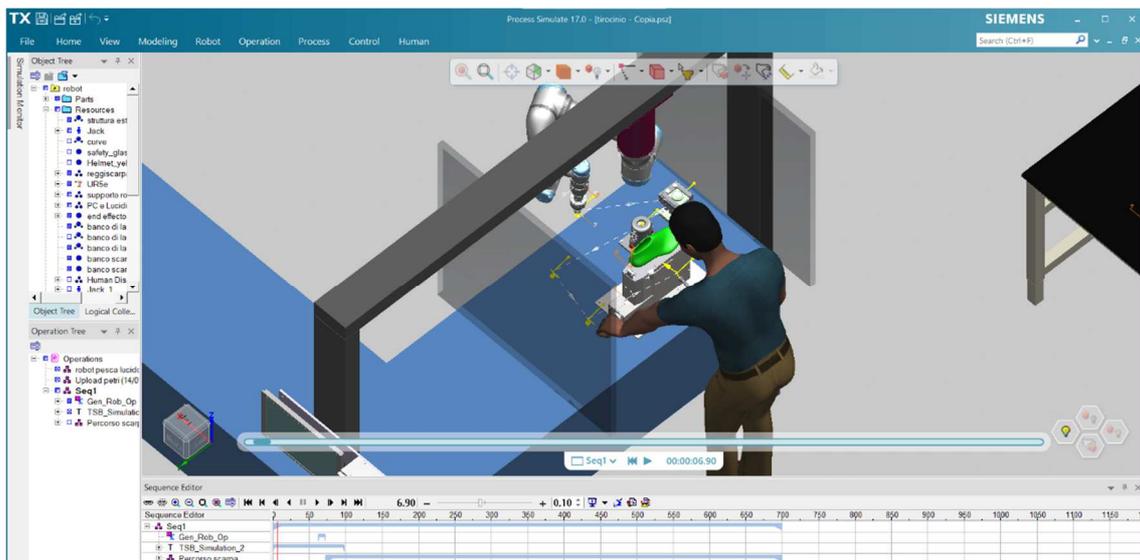


Figura 75 – Task 2 simulazione.

Figura 75 mostra l'operatore che afferra e muove le leve del supporto per liberare la calzatura dai morsetti di presa. È previsto l'utilizzo di entrambe le mani, sia destra che sinistra.

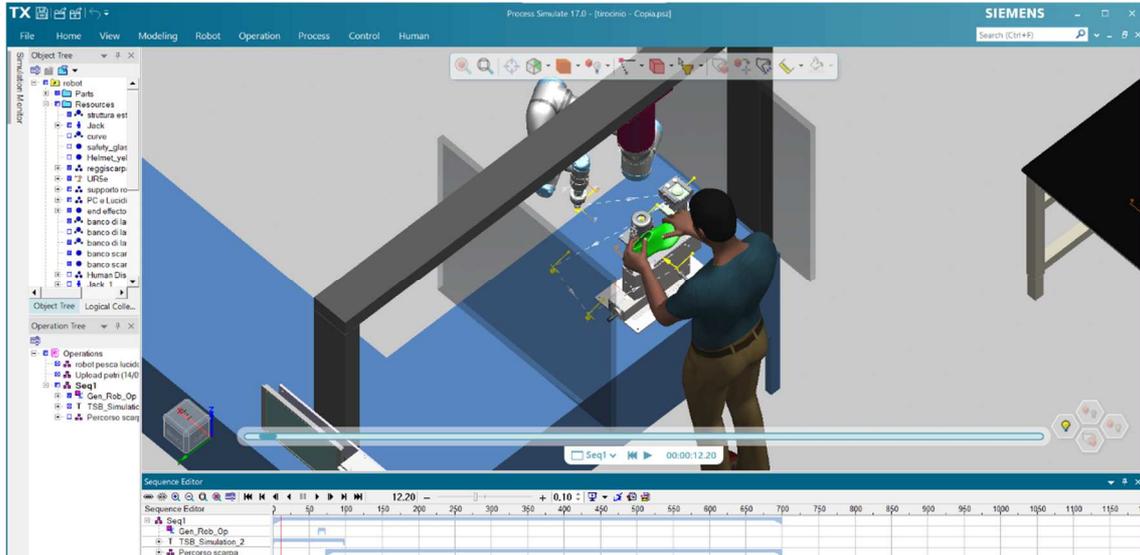


Figura 76 - Task 3 simulazione.

L'addetto prende l'articolo lucidato in prima fase con entrambe le mani, figura 76.

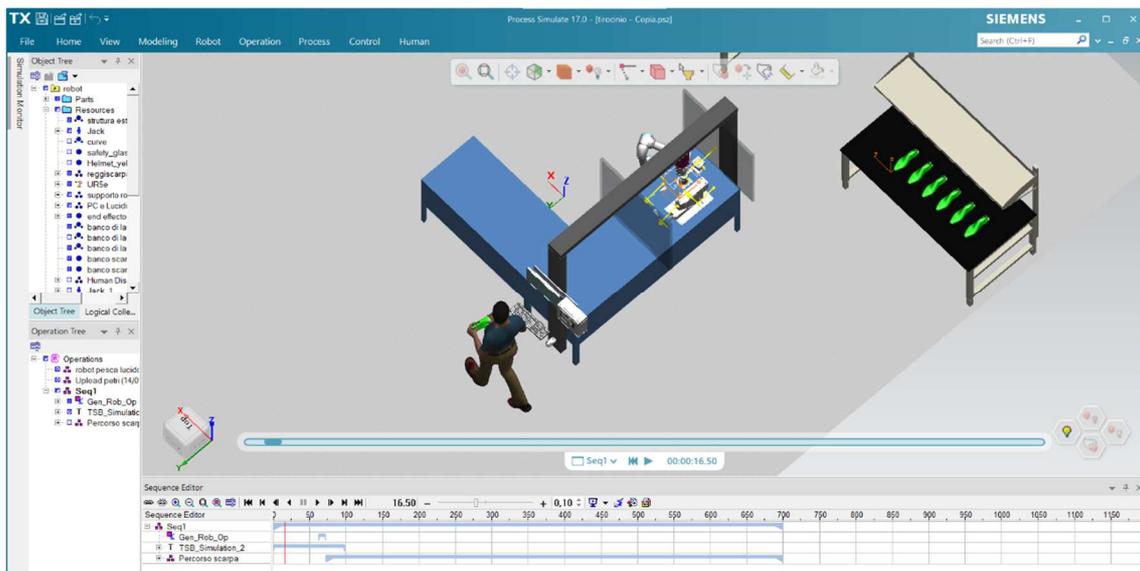


Figura 77 - Task 4 simulazione.

L'operatore porta la scarpa nella sezione dedicata alla lucidatura manuale, figura 77.

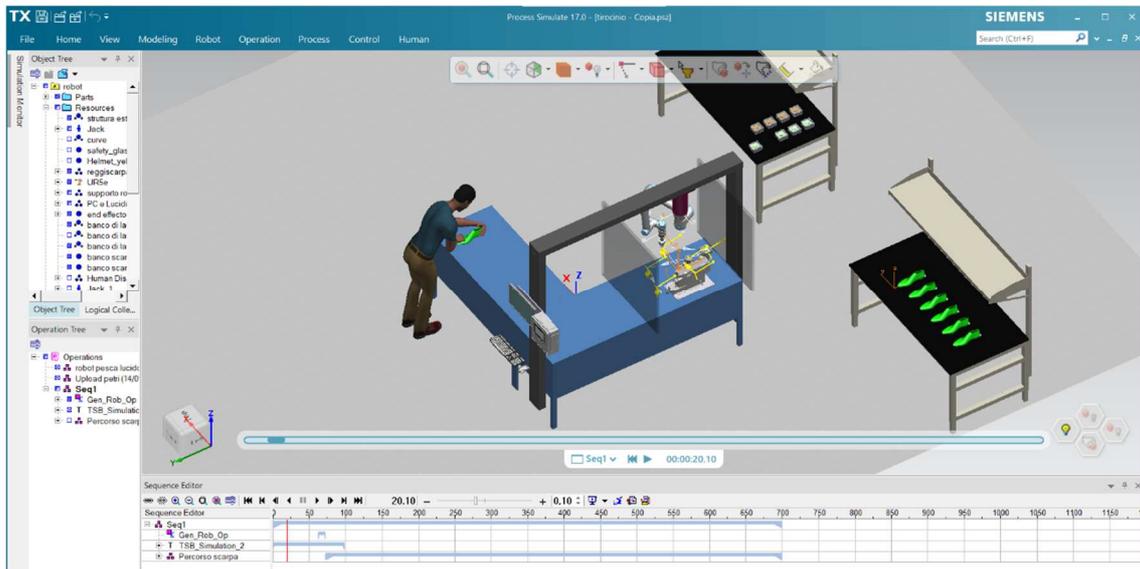


Figura 78 - Task 5 e 6 simulazione.

Con il comando “Position” poi “Put” viene posizionata e lasciata nella zona richiesta la calzatura, figura 78.

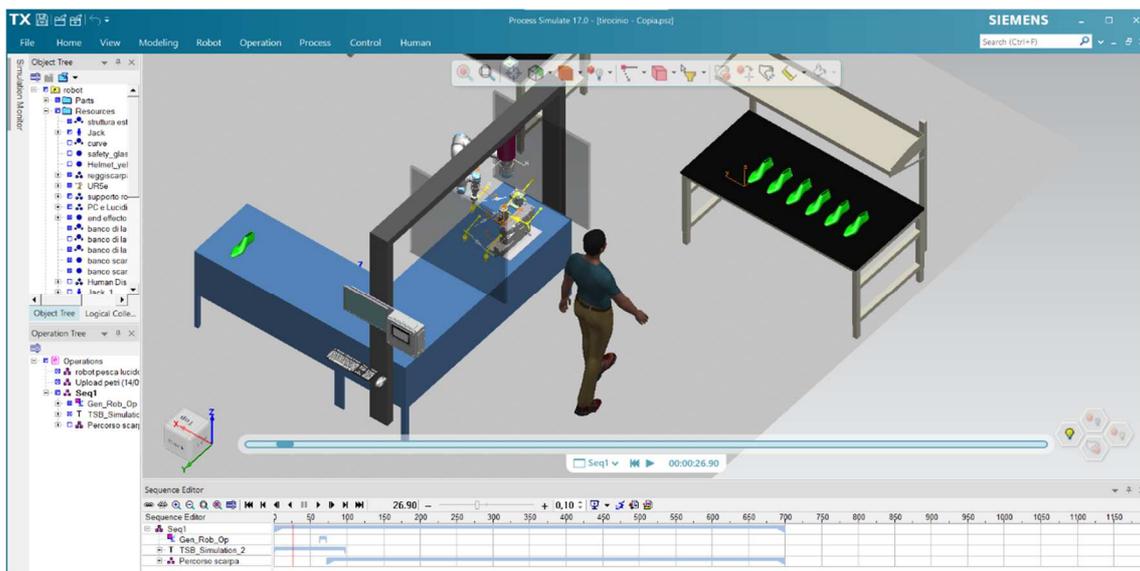


Figura 79 - Task 7 simulazione.

Figura 79 mostra l'operatore, a mani libere, dirigersi verso il banco contenente le calzature da lavorare. La collocazione del frame (visibile in figura in corrispondenza della superficie del tavolo) nella zona di destinazione ha semplificato notevolmente questa task.

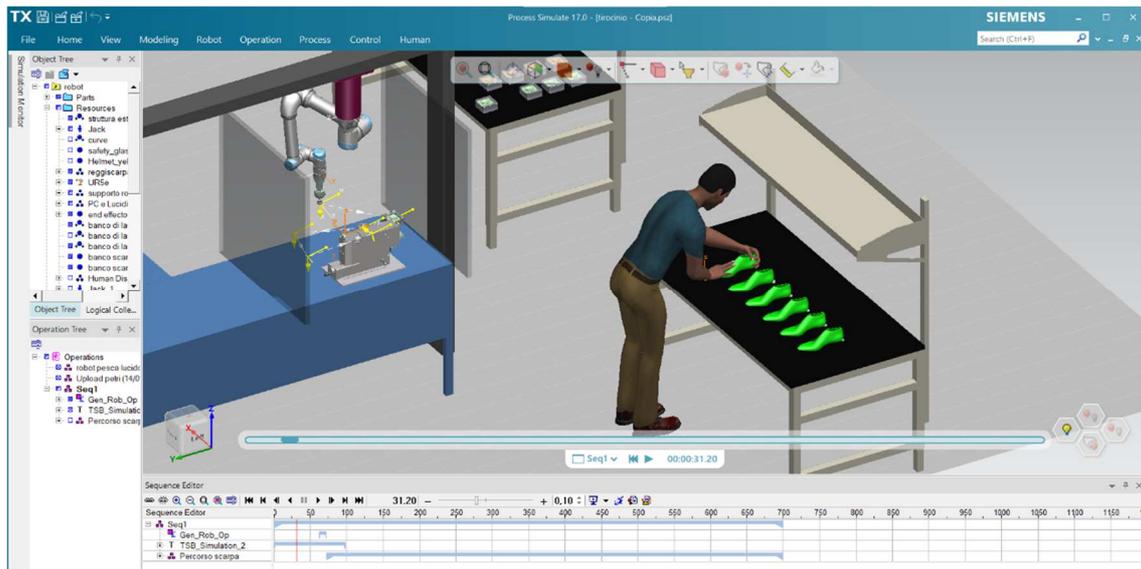


Figura 80 - Task 8 simulazione.

L'addetto agguanta con entrambe le mani la calzatura da sottoporre a lavorazione, figura 80.

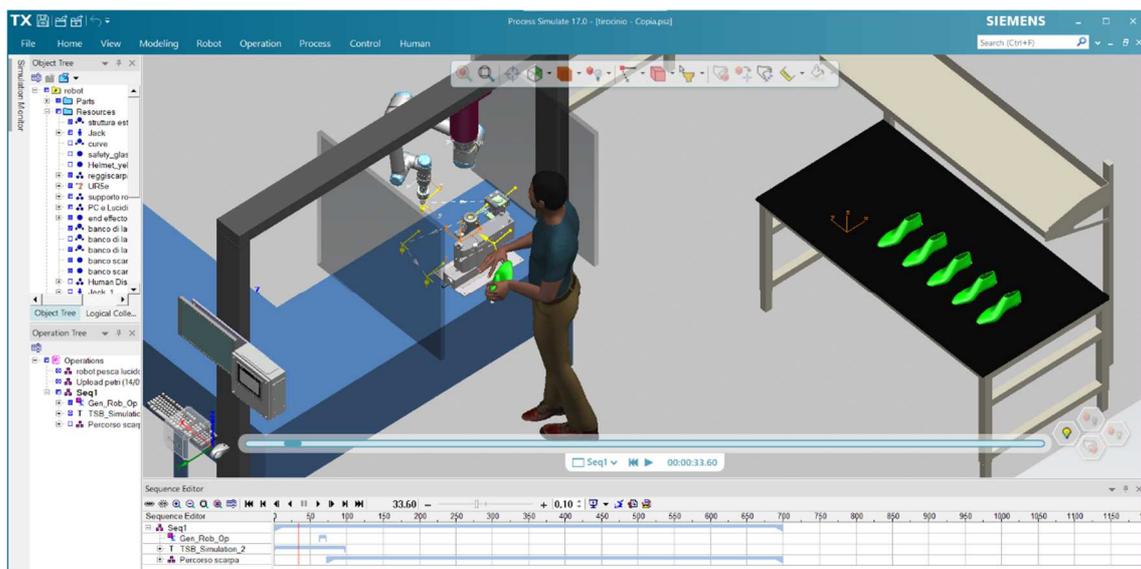


Figura 81 - Task 9 simulazione.

Figura 81 mostra la fase di raggiungimento della postazione robotica per attrezzare il supporto privo di elementi da lavorare.

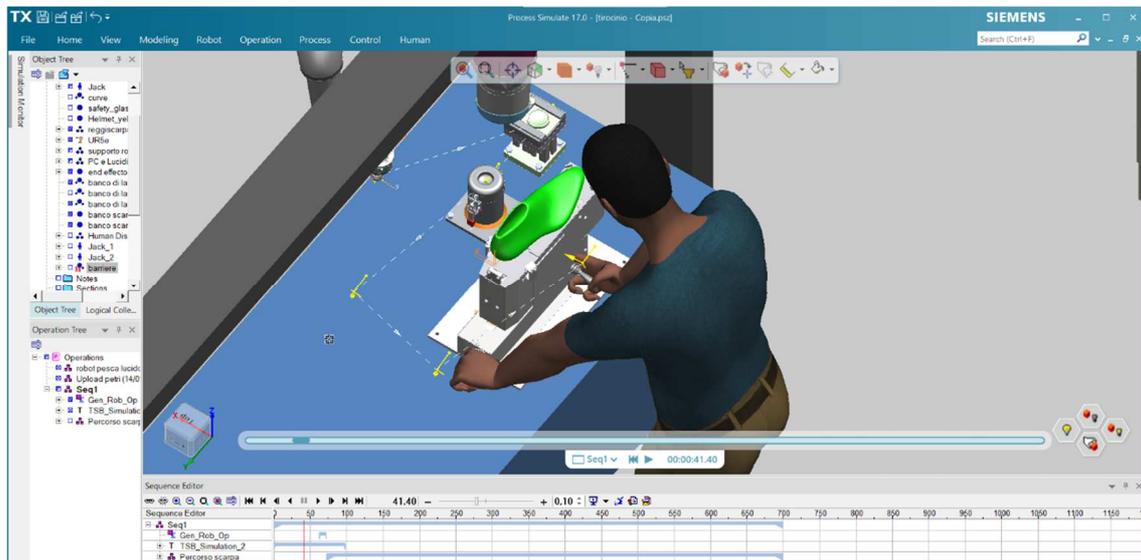


Figura 82 - Task 10 simulazione.

Figura 82 presenta lo step di sistemazione della calzatura con conseguente utilizzo dei selettori per fissarla saldamente.

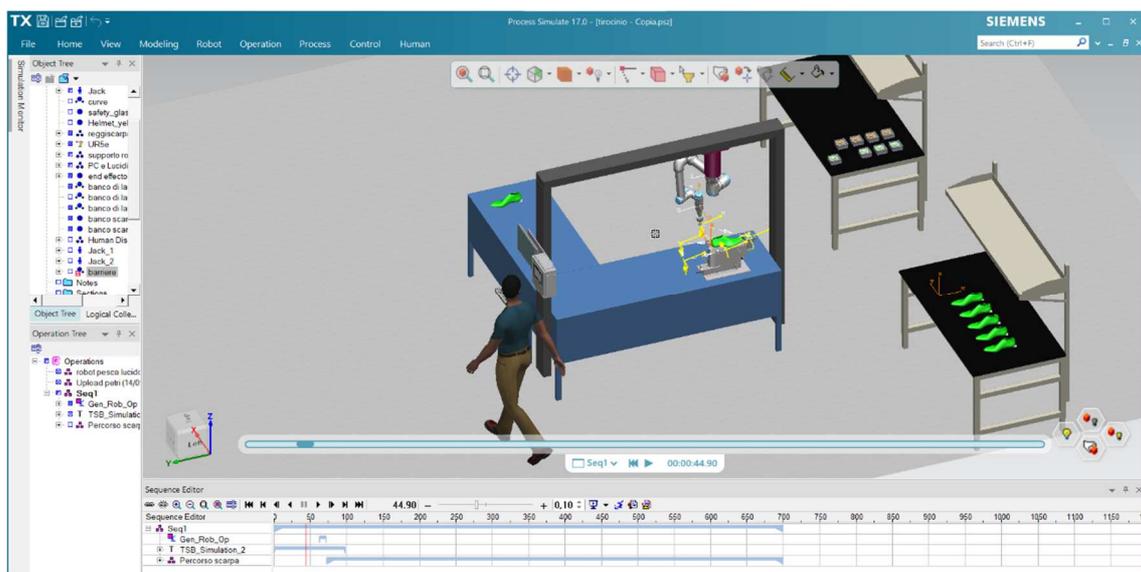


Figura 83 - Task 11 simulazione.

Segue, in figura 83, la fase di raggiungimento del Pc.

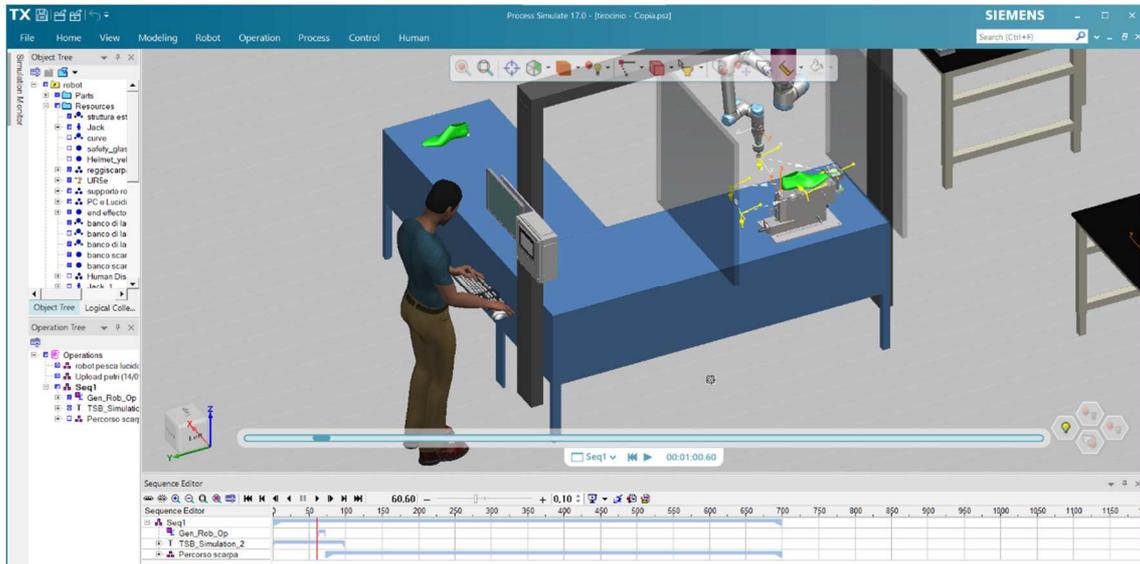


Figura 84 - Task 12 simulazione.

L'addetto, posizionata correttamente la scarpa nel meccanismo indicato, avvia il cobot con il computer (figura 84). Eseguirà questo step dopo aver controllato che impostazioni e settaggi, del Pc, siano corretti.

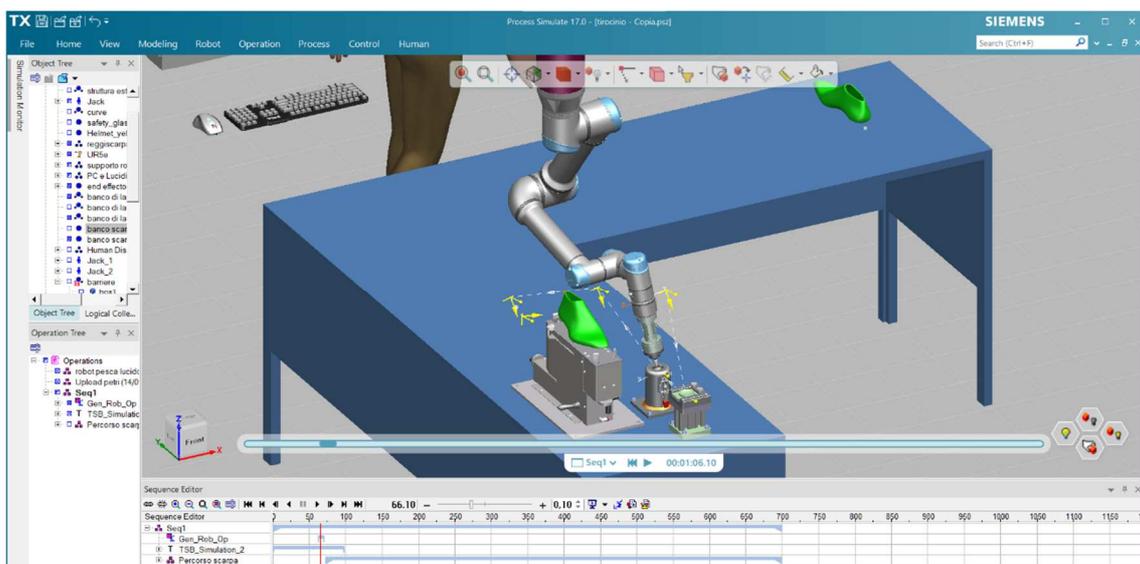


Figura 85 - Task 13 simulazione.

Figure 85 e 86: l'addetto lascia la postazione del Pc per avviarsi verso il banco contenente i lucidi; è mostrato anche l'inizio delle attività del robot, in particolare la fase di uniformazione del lucido (figura 85). Per rendere visibile questo step è stata richiesta la disattivazione della visualizzazione di alcuni componenti (barriere, struttura esterna, ecc.)

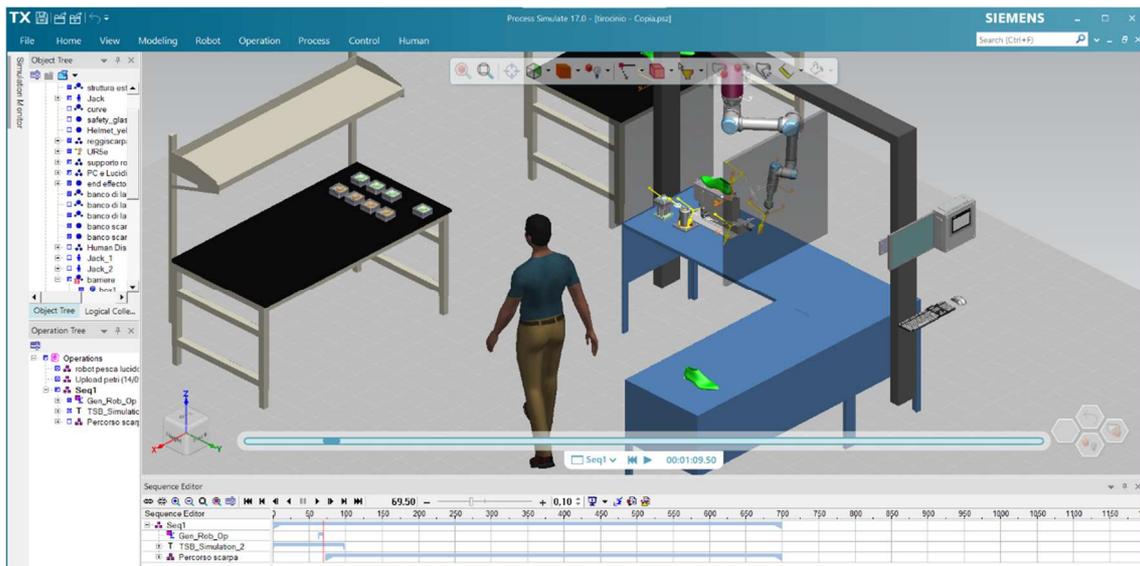


Figura 86 - Task 14 simulazione.

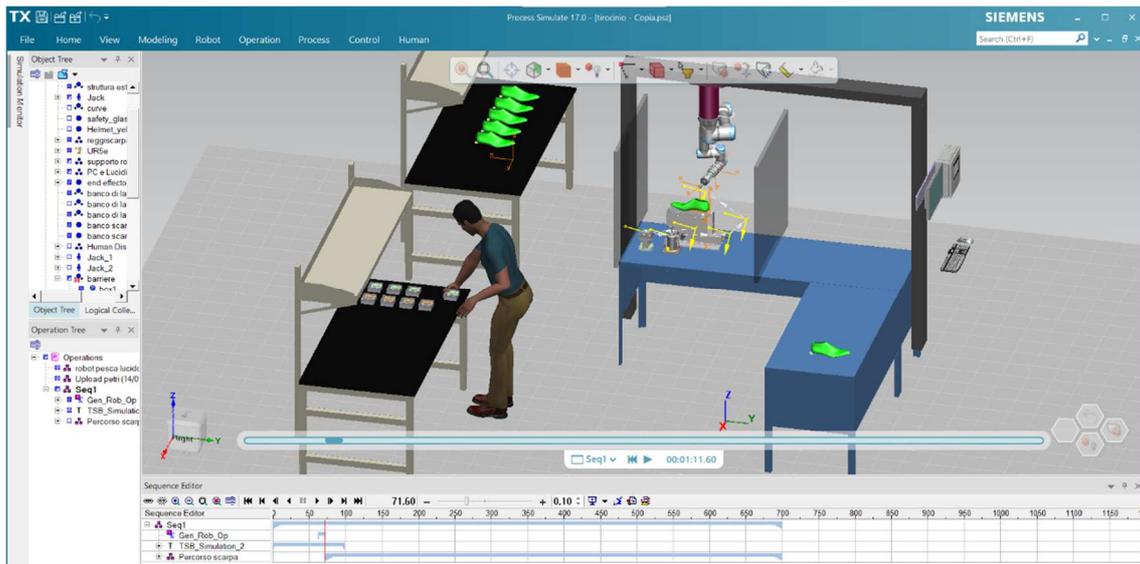


Figura 87 - Task 15 simulazione.

L'addetto si accinge alla preparazione della sua postazione di lavoro; figura 87 mostra l'operazione di presa dei lucidi da utilizzare per la lucidatura in prima e seconda fase.

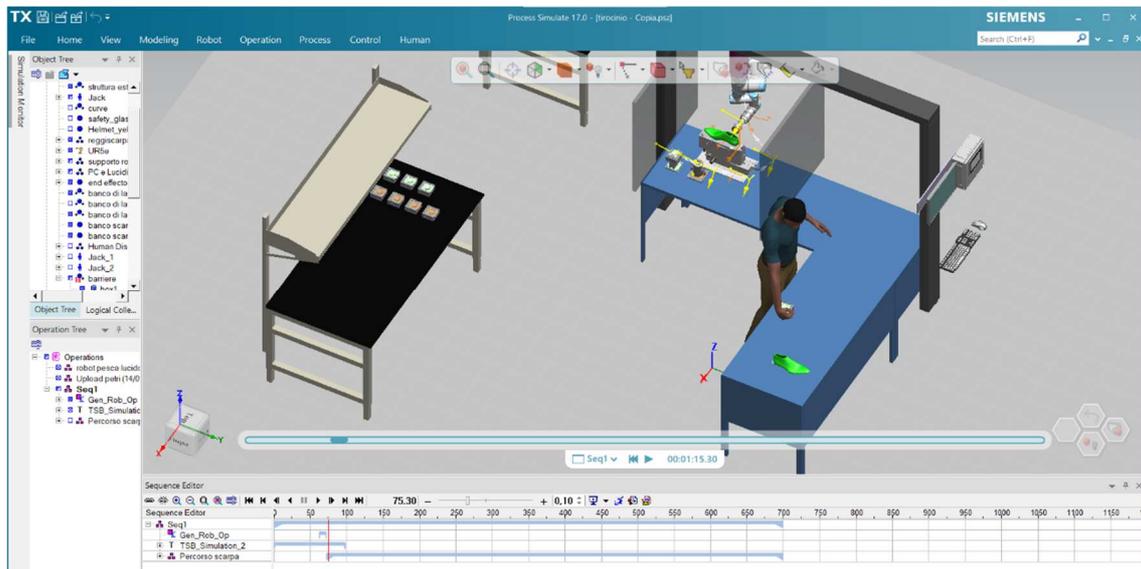


Figura 88 – Task 16 simulazione.

Figura 88 evidenzia lo step di posizionamento e rilascio del lucido. L'operatore eseguirà nuovamente questa operazione per completare la postazione con altri lucidi, fase che non verrà mostrata in quanto ripetitiva.

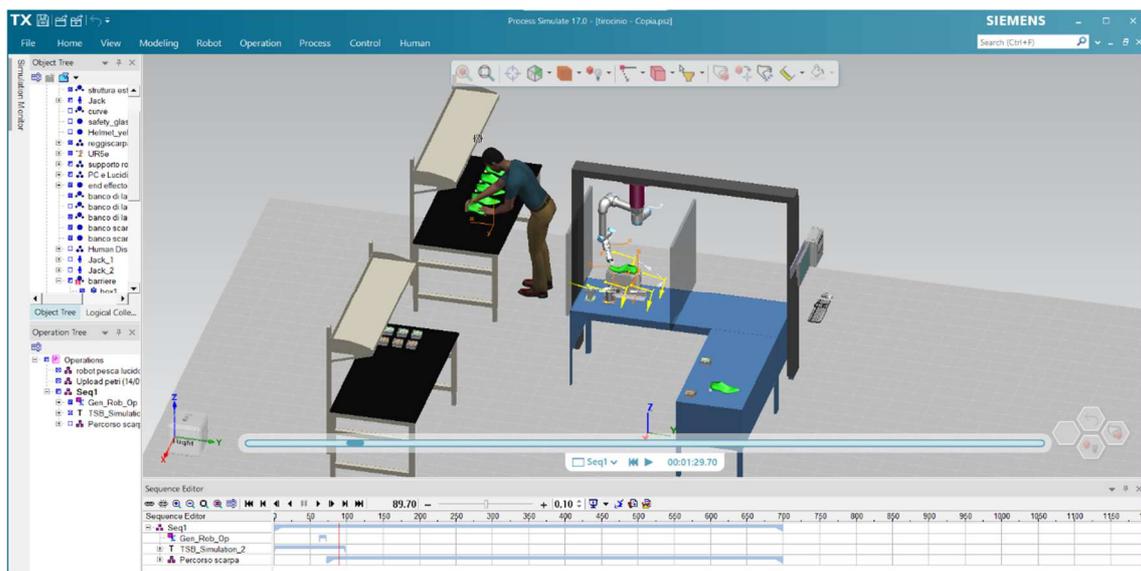


Figura 89 – Task 17 simulazione.

Poiché la lucidatura delle scarpe in prima e seconda fase deve essere comunque eseguita manualmente dall'addetto (nonostante la presenza dell'automa che supporta il reparto), figura 89 mostra lo step di presa delle scarpe da lavorare nella postazione.

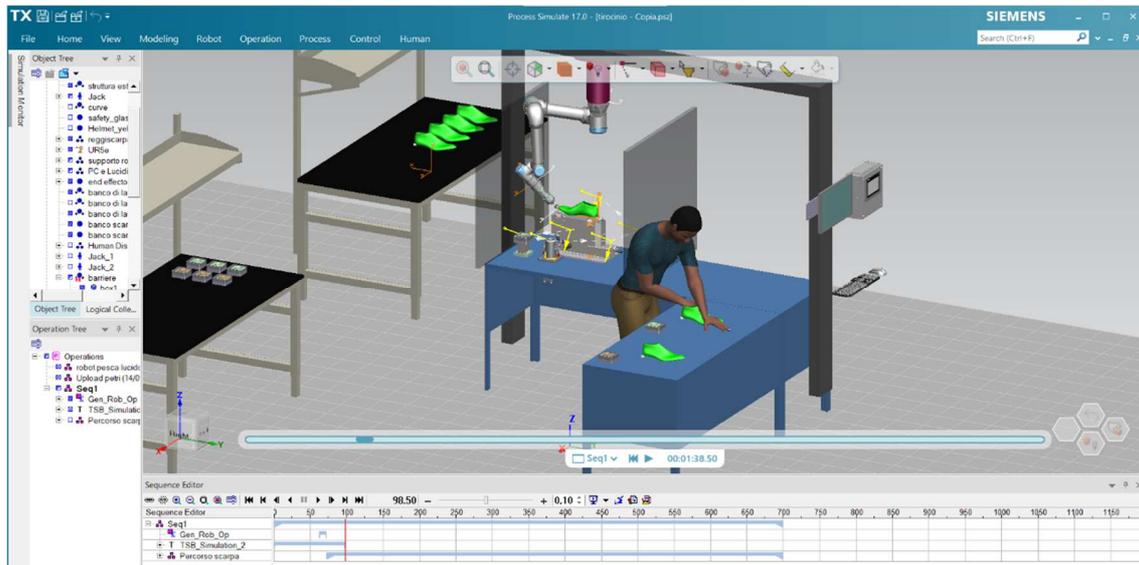


Figura 90 - Task 18 simulazione.

L'ultima fase è raffigurata in figura 90 in cui l'operatore colloca la calzatura nella sua postazione.

Ricapitolando (in riferimento all'ultima immagine): la calzatura a destra dell'operatore (scaricata dalla macchina) dovrà subire una lucidatura in seconda fase, dato che la prima fase è stata fatta dal robot; quella appena sistemata, invece, deve essere lavorata in entrambe le fasi poiché opaca.

In tutte le immagini elencate è visibile la barra video che delinea a che punto della simulazione si trova il task descritto; complessivamente essa ha un tempo di 11 minuti e 39 secondi.

L'output richiesto è quindi determinato: l'operatore, per svolgere tutte le attività mostrate in questo capitolo, richiede un minuto e 40 secondi.

Anche le parti del corpo che possono essere urtate nella collaborazione uomo-robot sono state individuate, ma saranno analizzate nell'analisi dei risultati.

5 – ANALISI DEI RISULTATI

Dopo aver illustrato la teoria su cui basare lo studio della postazione giunge il momento di riportare i risultati ottenuti. Per una più semplice comprensione è bene dividere in due sotto capitoli quest'ultima analisi, frazionando sicurezza ed ergonomia.

5.1 – RISULTATI SULLA SICUREZZA

Diversi sono stati i rischi individuati nel reparto simulato per i quali sono state prese in considerazione misure di riduzione del rischio. Prima ancora di mostrare i numeri è opportuno citare e descrivere la normativa di riferimento in questo contesto di ricerca.

La specifica tecnica ISO/TS 15066 contiene al proprio interno indicazioni e suggerimenti imprescindibili per garantire una collaborazione sicura, stabilendo la metodologia con la quale studiare il contatto ponendo l'attenzione su energie, velocità e pressioni. La normativa propone il criterio da seguire per identificare i valori limite delle grandezze fisiche in gioco, basandosi su un modello semplice che simula l'urto. Poiché gli elementi coinvolti sono umano e automa è corretto specificare le caratteristiche di quest'ultimo, inquadrando raggio d'azione, impronta, grandi di libertà e altri parametri visibili in figura 91 e 92.

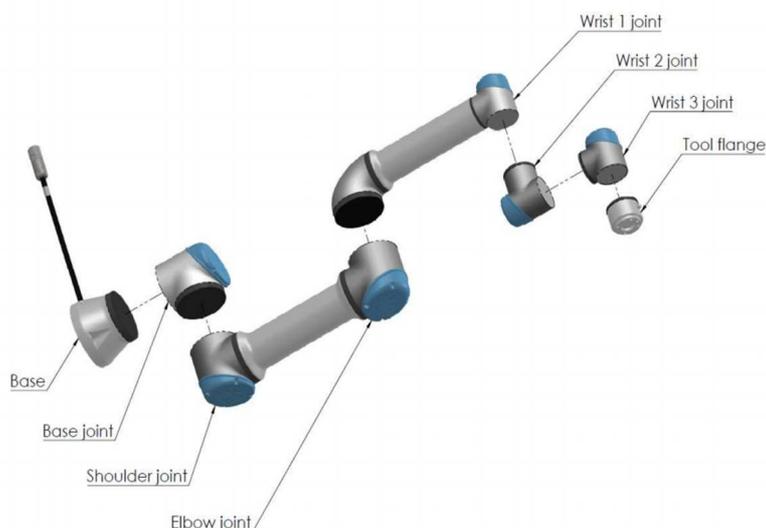


Figura 91 - Elementi specifici robot UR5e (www.universal-robots.com).

| | |
|--|---|
| Tipo di robot | UR5e |
| Peso | 20.7 kg / 45.7 lb |
| Carico utile massimo | 5 kg / 11 lb (4.4) |
| Raggio d'azione | 850 mm / 33.5 in |
| Arco di movimento dei giunti | ± 360° per tutti i giunti |
| Velocità | Giunti: Max 180°/s. Utensile: Circa 1 m/s / Circa 39.4 in/s. |
| Frequenza di aggiornamento del sistema | 500 Hz |
| Accuratezza del sensore della coppia della forza | 4 N |
| Ripetibilità della posizione | ± 0.03 mm / ± 0.0011 in (1.1 mils) per ISO 9283 |
| Impronta | Ø149 mm / 5.9 in |
| Gradi di libertà | 6 giunti rotanti |
| Dimensioni dell'unità di controllo (L×H×P) | 460 mm × 445 mm × 260 mm / 18.2 in × 17.6 in × 10.3 in |
| Porte I/O dell'unità di controllo | 16 ingressi digitali, 16 uscite digitali, 2 ingressi analogici, 2 uscite analogiche |
| Porte I/O dell'utensile | 2 ingressi digitali, 2 uscite digitali, 2 ingressi analogici |
| Comunicazione dell'utensile | RS 485 |
| Alimentazione I/O | 24 V 2 A nell'unità di controllo |
| Alimentazione elettrica I/O dell'utensile | 12 V/24 V 1.5 A (Doppio pin) 1 A (Pin singolo) |
| Comunicazione | TCP/IP 1000 Mbit: IEEE 802.3ab, presa 1000BASE-T Ethernet, adattatore MODBUS TCP & EtherNet/IP, Profinet |
| Programmazione | Interfaccia grafica utente PolyScope su schermo tattile da 12 pollici |
| Rumore | Robot Arm: Less than 65dB(A) Control Box: Less than 50dB(A) |
| Classificazione IP | IP54 |
| Classificazione di camera bianca | Braccio robot: Unità di controllo Classe ISO 6: Classe ISO 6 |
| Assorbimento di corrente | Circa 250 W usando un programma tipico |
| Funzionamento collaborativo | 17 funzioni di sicurezza avanzate. Conforme a: EN ISO 13849-1:2008, PLd, Cat.3 e EN ISO 10218-1:2011, clausola 5.10.5 |
| Materiali | Alluminio, plastica PP |
| Temperatura | Il robot può funzionare in una gamma di temperature ambientali di 0-50 °C |
| Alimentazione elettrica | 100-240 VAC, 47-440 Hz |
| Cablaggi | Cavo tra robot e unità di controllo (6 m / 236 in) Cavo tra schermo tattile e unità di controllo (4.5 m / 177 in) |

Figura 92 – Specifiche tecniche robot UR5e (www.universal-robots.com).

Di seguito saranno percorsi i punti chiavi della ISO/TS 15066.

L'attenzione sarà posta su **robot, come l'UR5e di questa tesi, che supportano il funzionamento collaborativo con limitazione di potenza e di forza** oltre ad essere muniti di dispositivi di sicurezza che rilevano la presenza di un operatore all'interno dello spazio di lavoro condiviso. Sarebbe inutile studiare i valori limite che possono assumere

velocità e pressione se il cobot utilizzato non fosse in grado di modulare questi due parametri.

Le accortezze da predisporre in una cella collaborativa sono numerose, la maggior parte delle quali elencate nei vari paragrafi della specifica tecnica.

La sezione 5.5.5.2 individua due possibili dinamiche di urto tra uomo e parti mobili dell'automa:

- *Contatto quasi statico*: comprende situazioni di serraggio o schiacciamento in cui la parte del corpo di una persona è intrappolata tra una parte mobile del robot e una zona della cella robotica. In una situazione del genere, il sistema robotizzato applicherebbe una pressione alla parte del corpo intrappolata per un intervallo di tempo prolungato.
- *Contatto transitorio*: si riferisce ad "impatto dinamico" e descrive una situazione in cui la parte del corpo di una persona può ritrarsi dal robot senza essere bloccata o incagliata, creando così un contatto di breve durata effettiva.

La normativa, inoltre, richiede che le situazioni di urto vengano esaminate considerando l'operatore privo di qualsiasi tipo di protezione, dispositivi di protezione individuale compresi.

Come facilmente prevedibile, circostanze di collisione con regioni del corpo sensibili quali cranio, fronte, laringe, occhi, orecchie, e altre devono essere evitate ogni qualvolta ragionevolmente possibile, sezione 5.5.5.3.

L'allegato "A" della specifica tecnica denominato "Limiti per contatti quasi statici e transitori" è la parte a cui si rimanda questa tesi.

Risulta fondamentale capire nella valutazione del rischio quale zona del corpo può essere bersagliata dalla macchina, dato che aree del corpo differenti avranno soglie diverse di dolore per sopportare il carico biomeccanico senza incorrere in lesioni. La specifica ha pensato bene di creare un modello umano comprendente 29 aree specifiche del corpo classificate in 12 regioni dello stesso: per esempio all'interno della sezione "petto" sono compresi sterno e muscolo pettorale.

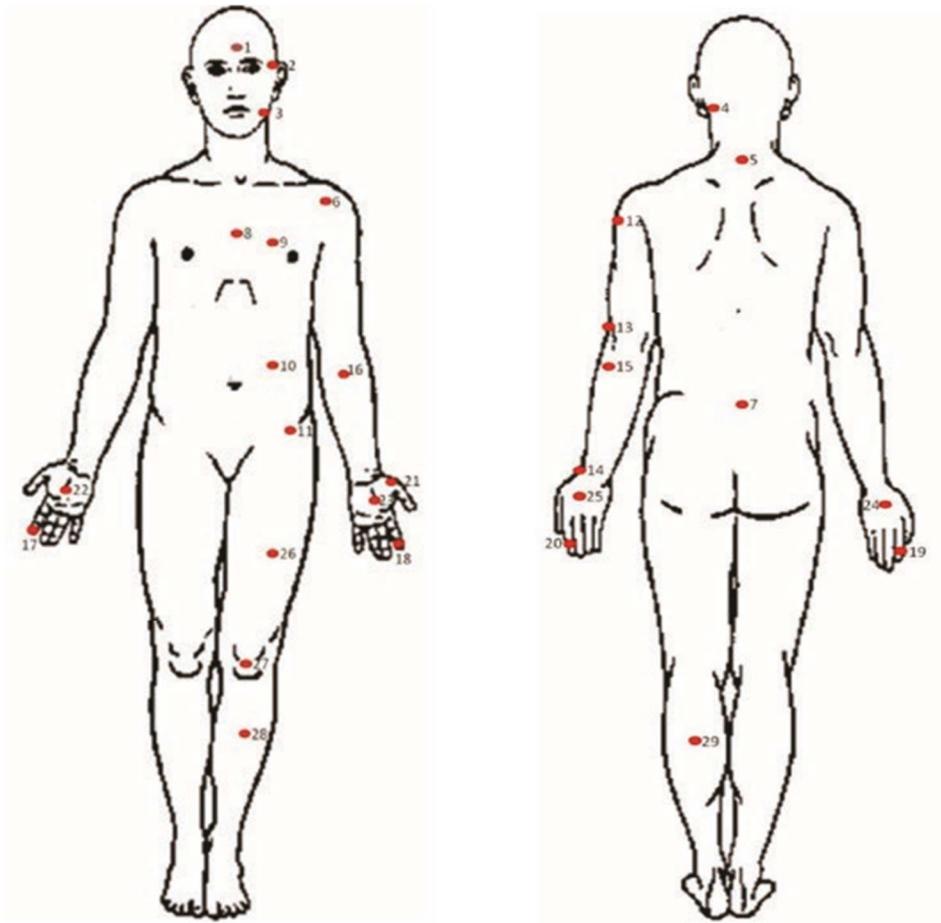


Figura 93 - Modello del corpo umano (ISO/TS 15066:2016 Robots and robotic devices – Collaborative robots).

Figura 93 mostra i punti del corpo numerati: per ognuno di essi sono stati determinati sperimentalmente i valori limite di *pressione e forza*. Questi coefficienti biomeccanici sono il risultato dello studio condotto dall'Università di Magonza, Germania, sui livelli di insorgenza del dolore. Si prevede che in futuro saranno condotti ulteriori approfondimenti che potrebbero portare ad una modifica dei termini nella tabella 2. *Per il contatto transitorio i limiti sono doppi rispetto al caso quasi-statico*; quest'ultimo rappresenta di fatto il caso peggiore di urto riscontrabile: nella tabella questa considerazione è spiegata con il numero due che rappresenta il moltiplicatore da associare al contatto quasi statico per ottenere il valore soglia del contatto transitorio.

Per cranio e fronte non sono ammessi valori limite dal momento che devono essere necessariamente prese misure di riduzione del rischio.

Tabella 2 – Limiti biomeccanici della parte superiore del corpo (ISO/TS 15066:2016 Robots and robotic devices – Collaborative robots).

| Regione del corpo | Area specifica del corpo | | Contatto quasi statico | | Contatto transitorio | |
|--|--------------------------|------------------------------|---|----------------------------------|--|------------------------------------|
| | | | Massima pressione ammissibile P_s N/cm ² | Massimo forza ammissibile N | Massima pressione ammissibile P_r | Massima forza ammissibile F_r |
| Cranio e fronte | 1 | Centro della fronte | 130 | 130 | non applicabile | non applicabile |
| | 2 | Tempia | 110 | | non applicabile | |
| Lato | 3 | Muscolo masticatorio | 110 | 65 | non applicabile | non applicabile |
| Collo | 4 | Muscolo del collo | 140 | 150 | 2 | 2 |
| | 5 | Settimo muscolo del collo | 210 | | 2 | |
| Schiena e spalle | 6 | Articolazione della spalla | 160 | 210 | 2 | 2 |
| | 7 | Quinta vertebra lombare | 210 | | 2 | 2 |
| Petto | 8 | Sterno | 120 | 140 | 2 | 2 |
| | 9 | Muscolo pettorale | 170 | | 2 | |
| Addome | 10 | Muscolo addominale | 140 | 110 | 2 | 2 |
| Bacino | 11 | Osso pelvico | 210 | 180 | 2 | 2 |
| Parte superiore delle braccia e articolazioni del gomito | 12 | Muscolo deltoide | 190 | 150 | 2 | 2 |
| | 13 | Omero | 220 | | 2 | |
| Parte inferiore braccia e articolazioni del polso | 14 | Osso radiale | 190 | 160 | 2 | 2 |
| | 15 | Muscolo dell'avambraccio | 180 | | 2 | |
| | 16 | Nervo del braccio | 180 | | 2 | |
| Mani e dita | 17 | Cuscinetto indice | 300 | 140 | 2 | 2 |
| | 18 | Cuscinetto indice | 270 | | 2 | |
| | 19 | Giunto terminale dell'indice | 280 | | 2 | |
| | 20 | Giunto terminale dell'indice | 220 | | 2 | |
| | 21 | Eminenza | 200 | | 2 | |
| | 22 | Palmo | 260 | | 2 | |
| | 23 | Palmo | 260 | | 2 | |
| | 24 | Dorso della mano | 200 | | 2 | |
| | 25 | Dorso della mano | 190 | | 2 | |

Fornite le basi per una corretta analisi il passo successivo prevede di determinare l'energia trasferita durante il **contatto transitorio**, sezione A.3.4.

Per descrivere questo scenario di contatto, viene utilizzato un semplice modello a due corpi delineato in figura 94; nello schema, **la massa effettiva del robot, m_R** , si muove

per entrare in contatto con la **massa effettiva della regione del corpo umano, m_H** , ad una **velocità vettoriale relativa, v_{REL}** , attraverso una **superficie bidimensionale, A** (in cm^2).

Trattandosi di un corpo dotato di massa e con una velocità, *l'energia in questione è cinetica* (formula A.2).

Altra grandezza utile è la **costante di elasticità, K** (N/mm), della regione del corpo colpita: più il tessuto è molle, maggiore è il valore assunto dalla costante dal momento che l'energia assorbita sarà maggiore (tabella 3).

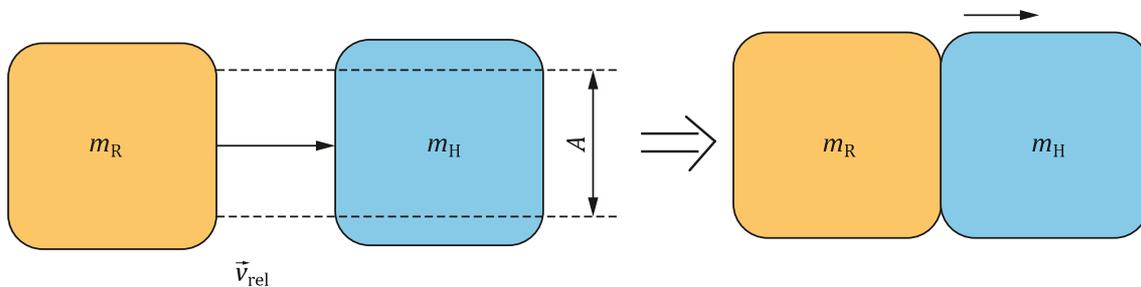


Figura 94 – Modello di riferimento nel contatto transitorio (ISO/TS 15066:2016 Robots and robotic devices – Collaborative robots).

CHIAVE DI LETTURA:

- **A** = Area di contatto tra cobot e regione del corpo;
- **m_H** = massa effettiva della regione del corpo umano;
- **m_R** = massa effettiva del robot;
- **v_{REL}** = velocità relativa tra robot e regione del corpo.

Tabella 3 – Masse effettive e costanti di elasticità per il corpo umano (ISO/TS 15066:2016 Robots and robotic devices – Collaborative robots).

| Regione del corpo | Costante di elasticità K N/mm | Massa effettiva m_H kg |
|-------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| Cranio e fronte | 150 | 4,4 |

| | | |
|--|----|-----|
| Faccia | 75 | 4,4 |
| Collo | 50 | 1,2 |
| Schiena e spalle | 35 | 40 |
| Petto | 25 | 40 |
| Addome | 10 | 40 |
| Bacino | 25 | 40 |
| Parte superiore delle braccia e articolazioni del gomito | 30 | 3 |
| Parte inferiore delle braccia e articolazioni del polso | 40 | 2 |
| Mani e dita | 75 | 0,6 |
| Cosce e ginocchia | 50 | 75 |
| Parte inferiore delle gambe | 60 | 75 |
| | | |

L'energia limite (J) è dunque determinata con la formula (A.1):

$$E = \frac{F_{MAX}^2}{2K} = \frac{A^2 P_{max}^2}{2K}$$

CHIAVE DI LETTURA:

- **E** = energia trasferita;
- **F_{MAX}** = forza di contatto massima per una specifica regione del corpo (tabella 2);
- **P_{MAX}** = pressione di contatto massima per una specifica regione del corpo (tabella 2);
- **K** = costante di elasticità per una specifica regione del corpo (tabella 3);
- **A** = Area di contatto tra cobot e regione del corpo.

Stabilita l'energia limite, con essa si può calcolare la *velocità limite* con la quale il robot può muoversi all'interno dello spazio collaborativo con la formula (A.2) seguente:

$$E = \frac{F_{MAX}^2}{2K} = \frac{1}{2} \mu v_{REL}^2$$

CHIAVE DI LETTURA:

- v_{REL} = velocità relativa tra robot e regione del corpo
- μ = è la massa ridotta del sistema a due corpi espressa dalla formula A.3 sottostante:

$$\mu = \left(\frac{1}{m_H} + \frac{1}{m_R} \right)^{-1}$$

con:

- m_H = massa effettiva della regione del corpo umano;
- m_R = massa effettiva, in funzione di postura e movimento, del robot (figura 95) descritta dalla formula A.4:

$$m_R = \frac{M}{2} + m_L$$

dove:

- m_L = è il carico utile del sistema robotizzato compreso utensili, e se previsto, pezzo in lavorazione;
- M = massa totale delle parti mobili del robot:

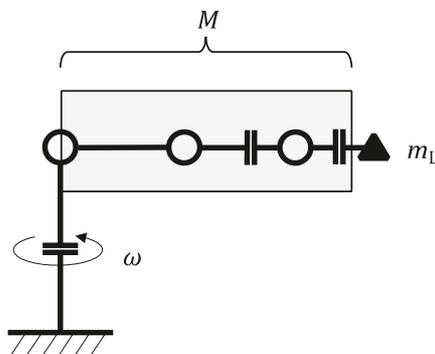


Figura 95 – Modello semplificato di distribuzione di massa (ISO/TS 15066:2016 Robots and robotic devices – Collaborative robots).

- ω = velocità angolare.

Attraverso l'applicazione di passaggi matematici, dalla formula A.2 si ottiene la formula A.5 (è stata ricavata semplicemente la $v_{REL,MAX}$ note le altre grandezze, alcune delle quali, presenti nelle tabelle sopra riportate):

$$v_{REL,MAX} = \frac{F_{MAX}}{\sqrt{\mu K}} = \frac{P_{MAX}A}{\sqrt{\mu K}}$$

Questi sono gli step e le identità che permettono di ricavare la **velocità relativa massima (in mm/s)** con cui il robot può lavorare all'interno della cella condivisa rispettando forze e pressioni limite; anche nel caso di impatto con l'uomo, se la velocità dell'automa fosse al di sotto di quella limite, i danni sarebbero lievi.

È indubbio che il quadro ideale è quello privo di qualsiasi contatto.

Esplicitati i contenuti della specifica tecnica, doveroso visto l'apporto di informazioni utili, essi verranno applicati alla valutazione dei rischi seguente basandosi sulla teoria discussa nel capitolo 2.5; la descrizione della parte a venire sarà schematica.

1) INFORMAZIONI SUL DOCUMENTO

| Documento di identificazione | |
|------------------------------|---------------------------------------|
| Nome del progetto | LUCIDATURA PARZIALE CALZATURE (CARL). |
| Numero del progetto | - |
| Versione | - |
| Data | - |

2) CELLA ROBOTICA – INFORMAZIONI GENERALI

| Informazioni sulla macchina | |
|-------------------------------|----------------------------|
| Fabbricante | - |
| Tipo di macchina/ robot | UR5e |
| Numero di serie | - |
| Data di fabbricazione | - |
| Certificazione della macchina | Certificazione ISO 10218-1 |

| Informazioni sul dispositivo | |
|--------------------------------|----------------------------|
| Nome del dispositivo | End effector di lucidatura |
| Fabbricante | - |
| Tipo di dispositivo | - |
| Numero di serie | - |
| Peso in grammi | 800 gr |
| Certificazione del dispositivo | - |

| Informazioni sui pezzi in lavorazione | |
|---------------------------------------|---------------------------------|
| Forma pezzo | Calzatura |
| Dimensioni Pezzo in lavorazione | Da 5 a 12 (taglia americana US) |
| Dimensioni pezzo in lavorazione | Da 24,1 cm a 29cm (lunghezza) |

Le misure delle calzature sottoposte a lavorazione sono: 5, 5.5, 6, 6.5, 7, 7.5, 8, 8.5, 9, 9.5, 10, 10.5, 11, 11.5, 12.

3) DESCRIZIONE DELLA SEQUENZA DI LAVORO

La sequenza lavorativa illustrata nel capitolo 4.3 può essere così riassunta:

1. Robot in posizione di sicurezza in attesa di essere avviato.
2. Operatore che rimuove la calzatura sbloccandola dal supporto con le leve presenti.
3. Operatore che posiziona la calzatura rimossa nell'area dedicata.
4. Operatore che agguanta e posiziona nel supporto del robot la calzatura da lavorare in prima fase.
5. Operatore che blocca la calzatura nel supporto con le leve.

6. Operatore che raggiunge il PC e avvia la lucidatura robotizzata.
7. Robot che preleva, poi uniforma, il lucido eseguendo la lucidatura.
8. Operatore che raggiunge la sua postazione.
9. Operatore che mette a punto il suo banco con lucidi, scotch e panno da posizionare sulle dita.
10. Operatore che lucida la calzatura.
11. Robot che termina il processo (dopo 45 min) e raggiunge la posizione di sicurezza.
12. Operatore che rimuove l'elemento lavorato dal robot.

Il ciclo si ripete secondo questo ordine per la durata complessiva del turno di 8 ore.

4) LIMITI DELLA MACCHINA

Limiti di utilizzo

Destinazione d'uso:

Lucidatura in prima fase di calzature destinate al settore del lusso.

Uso improprio prevedibile:

1. Operatore all'interno del raggio di azione del robot.
2. Movimenti non previsti dell'operatore all'interno dello spazio di lavoro durante il movimento del robot.
 - 2.1. Operatore che invade il volume di lavoro del robot con la testa, o con le mani, per verificare lo stato della scarpa.
3. Traiettorie del robot non prevedibili dell'automa.

Quali applicazioni errate sono possibili?

- Diverse possibilità di intervento
- Operatori privi di formazione ed esperienza
- Altre persone possono entrare nell'area di lavoro mentre il robot è in movimento

Limiti spaziali

- Requisiti di spazio delle persone (almeno metri quadri 2)
- Fornitura/scarico materiale
- Interfacce

La valutazione del rischio è valida per una zona che si estende con un raggio di 1,49 m intorno al centro del pezzo in lavorazione.

Limiti di tempo

L'analisi del rischio è valida per tutto il tempo in cui il robot è attivo, nonché cicli di 45 minuti ripetuti che si interrompono solo durante la pausa pranzo di un'ora e nella pausa al mattino di 15 minuti.

5) RISULTATI

Attraverso la simulazione su Process Simulate sono stati identificati pericoli che richiedono una riduzione del rischio.



Figura 96 – Urto tra meccanico transitorio con il braccio, dal gomito in su.

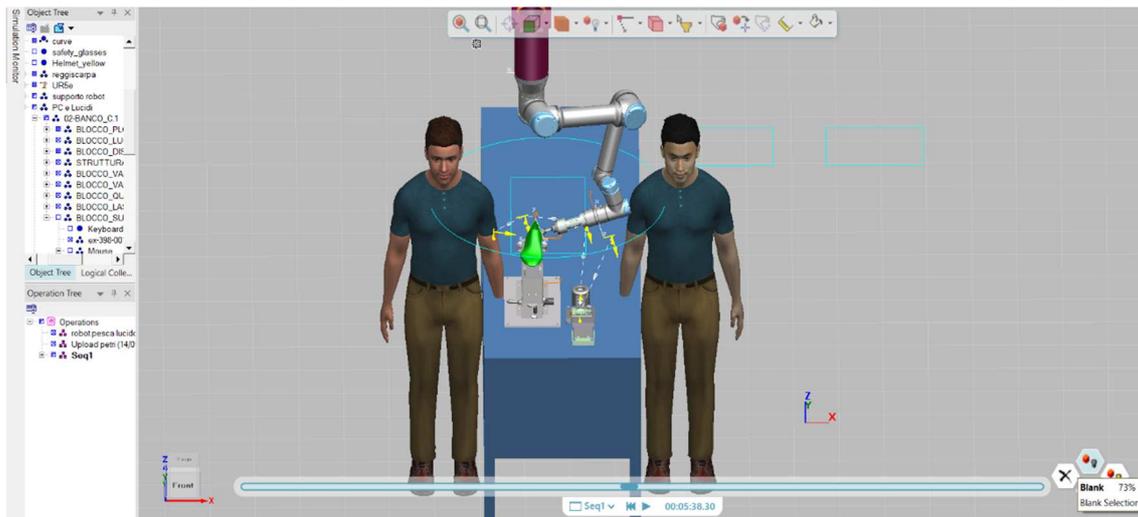


Figura 97 - Urto meccanico transitorio con la spalla dell'uomo.

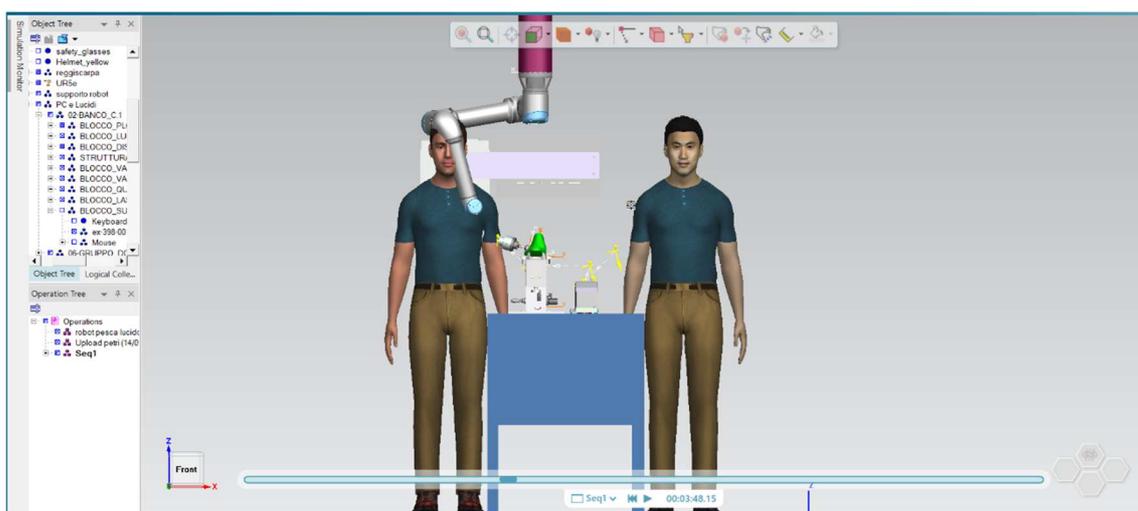


Figura 98 - Urto meccanico transitorio con testa, petto, collo.

La circonferenza azzurra presente nelle figure 96, 97 delinea il raggio d'azione degli arti robotici. **Il pericolo** riguarda più zone del corpo: braccio (zona del gomito in figura 96), spalla (figura 97) e testa (compreso collo, petto e schiena nella parte posteriore (figura 98)). Queste condizioni di urto sono state stabilite ponendo l'addetto (su Process Simulate) in prossimità del robot riproducendo le circostanze in cui l'uomo, camminando nella sua postazione vicino al volume di lavoro dell'automa, possa essere colpito. In base alla

postura del robot, dipendente dallo stadio di lucidatura in cui si trova, le zone bersagliate cambiano.

Sono mostrate due persone nelle immagini dal momento che l'urto può avvenire in entrambi i lati del cobot: *l'operatore è lo stesso* ma in funzione della zona in cui si trova (nella postazione) cambia la parte colpita; in particolare, a sinistra è quasi certo che avvengano urti con la testa rappresentando di fatto il lato peggiore. Ecco, quindi, che la valutazione dei rischi tiene conto di entrambi i lati del robot.

Richiamando la ISO/TS 15066 descritta in questo capitolo, devono essere esplicitati i termini che quantificano la velocità relativa massima.

NERVO DEL BRACCIO (figura 96):

- Area specifica del corpo 16 (tabella 2);
- Pressione ammissibile = 320 N/cm^2 ; Forza Ammissibile = 320 N (tabella 2);
- m_H (massa effettiva della regione del corpo umano) = 3 kg ;
- K (costante di elasticità) = 30 N/mm ;
- E (energia limite) = $1,5 \text{ J}$;
- M (massa totale delle parti mobili del robot) = $18,4 \text{ kg}$, approssimata dalla figura 92;
- m_L (carico utile del sistema robotizzato) = $5,8 \text{ kg}$, figura 92, dei quali $0,8 \text{ kg}$ sono dati dal peso dell'end effector;
- m_R (massa effettiva, in funzione di postura e movimento, del robot) = 15 kg ;
- μ (massa ridotta del sistema) = $2,5 \text{ kg}$;
- $v_{REL,MAX} = 1095 \text{ mm/s}$

SPALLA (figura 97):

- Area specifica del corpo 6 (tabella 2);
- Pressione ammissibile = 320 N/cm^2 ; Forza Ammissibile = 420 N (tabella 2);
- $m_H = 40 \text{ kg}$;
- $K = 35 \text{ N/mm}$;
- $E = 2,5 \text{ J}$;
- $M = 18,4 \text{ kg}$, approssimata dalla figura 92;
- $m_L = 5,8 \text{ kg}$, figura 92, dei quali $0,8 \text{ kg}$ sono dati dal peso dell'end effector;

- $m_R = 15 \text{ kg}$;
- $\mu = 10,9 \text{ kg}$;
- $v_{REL,MAX} = 680 \text{ mm/s}$

Sono state calcolate le velocità limite nei due casi di spalla e braccio, evidenziate in giallo; *per la testa e le zone delicate del corpo di figura 98 devono obbligatoriamente essere considerate misure eliminazione del pericolo, rendendo sterile qualsiasi tipo di calcolo.*

La valutazione del rischio, considerando anche l'uso scorretto ragionevolmente prevedibile, è posta in tabelle.

Preventivamente si può affermare che **il robot ha una velocità reale, attualmente, di 30 mm/s** abbondantemente al di sotto dei risultati ottenuti.

| Identificazione dei pericoli: Pericolo 1. | |
|---|---|
| Titolo | Impatto durante gli spostamenti nell'area di lavoro |
| Bersaglio | Spalla |
| Attività | Funzionamento normale |
| Compito | Robot in fase di lucidatura |
| Tipo di pericolo | Urto meccanico transitorio con conseguenti lesioni. |
| Descrizione | Il robot durante la lucidatura della scarpa potrebbe urtare l'operatore che si sposta all'interno della postazione. La parte dell'automa che colpisce la spalla, è il 'wrist joint 1' (figura 91): essa raggiunge una velocità massima durante la lucidatura pari a 30 mm/s. La velocità relativa ammissibile è di 680 mm/s determinata considerando una forza ammissibile, nella zona soggetta ad urto, pari a 420 N e una costante di elasticità di 35 N/mm. È chiaro che la velocità del robot è ampiamente accettabile. Questa condizione riguarda entrambi i lati del robot (figura 97). |
| Stima e valutazione del rischio | |
| Grado di possibile danno (DPH): 0,5 Probabilità di verificarsi di un evento pericoloso (PO): 2.5 Possibilità di evitamento (PA): 2.5 Frequenza di esposizione (FE): 5 Pilz Hazard Rating (PHR): 15.625 Entità: RISCHIO MOLTO BASSO | |
| Riduzione del rischio | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Dotare la postazione di Laser Scanner - Predisporre segnaletica a terra utile a specificare le zone in cui l'operatore non deve sostare o passare mentre il robot esegue la lucidatura - Formazione del personale - Barriere | |
| Stima e valutazione del rischio | |
| Grado di possibile danno (DPH): 0,5 Probabilità di verificarsi di un evento pericoloso (PO): 0.05 Possibilità di evitamento (PA): 0.75 Frequenza di esposizione (FE): 5 Pilz Hazard Rating (PHR): 0.093 Entità: RISCHIO TRASCURABILE | |

| Identificazione dei pericoli: Pericolo 3. | |
|--|---|
| Titolo | Impatto dovuto a traiettorie non prevedibili. |
| Bersaglio | Braccio, dal gomito a poco sotto il deltoide. |
| Attività | Funzionamento normale. |
| Compito | Robot in fase di lucidatura. |
| Tipo di pericolo | Urto meccanico transitorio con conseguenti lesioni. |
| Descrizione | Svolgendo la lucidatura l'automa raggiunge punti oltre i quali non riesce ad andare poiché si trova in configurazioni che comporterebbero il contatto dei componenti stessi tra loro: questi angoli limite (o situazioni limite) inducono un 'riassetamento', o cambio di configurazione, del robot facendo sì che il wrist joint 2, di conseguenza anche gli elementi sottostanti compreso l'end effector, compia una rotazione di quasi 360 gradi. L'end effector, durante questa rotazione e traslazione non prevedibile, può urtare con la parte superiore del braccio dell'addetto che si muove nella postazione. Questa meccanica si ripete al massimo 2 volte in un ciclo di lucidatura di 45 minuti. Compiuta questa traiettoria il robot riprenderà il normale funzionamento nel giro di pochi secondi. Rimane comunque una condizione molto improbabile che deve essere in ogni modo considerata per entrambi i lati del robot. |
| Stima e valutazione del rischio | |
| Grado di possibile danno (DPH): 0,5 Probabilità di verificarsi di un evento pericoloso (PO): 0.05 Possibilità di evitamento (PA): 0.75 Frequenza di esposizione (FE): 5 Pilz Hazard Rating (PHR): 0.093 Entità: RISCHIO TRASCURABILE | |
| Riduzione del rischio | |
| Non necessaria | |
| Stima e valutazione del rischio | |
| Grado di possibile danno (DPH): - Probabilità di verificarsi di un evento pericoloso (PO): - Possibilità di evitamento (PA): - Frequenza di esposizione (FE): - Pilz Hazard Rating (PHR): - Entità: - | |

| Identificazione dei pericoli: Pericoli 5. | |
|---|---|
| Titolo | Schiacciamento durante la presa della calzatura dal supporto |
| Bersaglio | Mano |
| Attività | Funzionamento normale |
| Compito | Robot in fase di lucidatura |
| Tipo di pericolo | Urto meccanico quasi statico con conseguenti lesioni medio gravi. |
| Descrizione | Questa è una delle casistiche rientranti nell' uso scorretto della macchina. Durante la fase di lucidatura automatica l'addetto si dirige verso il cobot afferrando la calzatura situata nel supporto; questo porterà ad uno schiacciamento della mano da parte dell'end effector. Supponendo che il dorso della mano sia la parte coinvolta, la pressione ammissibile in questa zona è di 200 N/cm ² , circa 20,4 kg/cm ² (per rendere maggiormente l'idea). L'acciaccatura può riguardare anche le dita che hanno una pressione massima di 280 N/cm ² . Circostanza riscontrabile su entrambi i lati del robot. |
| Stima e valutazione del rischio | |
| Grado di possibile danno (DPH): 3 Probabilità di verificarsi di un evento pericoloso (PO): 1.25 Possibilità di evitamento (PA): 2.5 Frequenza di esposizione (FE): 5 Pilz Hazard Rating (PHR): 47 Entità: RISCHIO SIGNIFICATIVO | |
| Riduzione del rischio | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Dotare la postazione di Laser Scanner - Predisporre segnaletica a terra utile a specificare le zone in cui l'operatore non deve sostare o passare mentre il robot esegue la lucidatura - Formazione del personale - Barriere | |
| Stima e valutazione del rischio | |
| Grado di possibile danno (DPH): 3 Probabilità di verificarsi di un evento pericoloso (PO): 0.05 Possibilità di evitamento (PA): 0.75 Frequenza di esposizione (FE): 5 Pilz Hazard Rating (PHR): 0.56 Entità: RISCHIO TRASCURABILE | |

Il Laser Scanner merita notevole attenzione in quanto l'installazione di questo dispositivo annulla tutti i rischi di urto e schiacciamento presenti nella cella robotica. Nel caso della di questa tesi, per eliminare i pericoli riscontrabili, la predisposizione del Laser Scanner deve riguardare entrambi i lati del robot.

L'apparecchio agisce andando a variare la velocità di funzionamento della macchina in relazione alla distanza delle persone da quest'ultimo; lo scanner utilizza due set di campi di velocità, ognuno costituito da un campo di preallarme e uno protetto. Superato il limite di distanza preimpostato l'automa si ferma istantaneamente, rendendo gli urti irrealizzabili.

Rispetto a un arresto completo, una riduzione di velocità monitorata in sicurezza significa maggiore produttività.

Sintetizzando, i pericoli identificati sono cinque con un Pilz Hazard Rating quasi sempre accettabile tranne nel caso dello schiacciamento che merita particolare attenzione dall'addetto e dai tecnici, così come il contatto con le zone delicate. Lo studio considera entrambi i lati del robot: da un'accurata analisi della simulazione la parte sinistra della macchina, figure 96 97 e 98, è quella più pericolosa essendo il supporto con la calzatura più vicino all'estremità del banco rispetto al lato opposto; questa configurazione porta ad una maggiore vicinanza con l'automa su questo lato rendendo la testa bersaglio facile, situazione totalmente sfavorevole che richiede intervento. Per di più, grazie al software, risulta una probabilità maggiore di urto con il braccio rispetto alla spalla.

Le barriere poste in corrispondenza della macchina, la segnaletica a terra che delinea la zona in cui l'operatore non deve sostare (o passare) e il Laser Scanner, oltre ad altri accorgimenti, rendono la collaborazione sicura e produttiva.

5.2 – RISULTATI ERGONOMICI

Per portare a termine questo contesto di ricerca è inderogabile un approfondimento dei risultati ergonomici senza tralasciare la produttività del reparto. Il capitolo 3.1 è lo strumento a cui riferirsi, senza introdurre ulteriori studi teorici.

Process Simulate ha permesso di ricavare i tempi delle attività svolte dall'uomo per supportare e attrezzare il robot, mentre i tempi di lucidatura manuali sono già noti mediante filmati direttamente forniti dall'azienda.

Le considerazioni dei risultati ergonomici di questo capitolo saranno costituite essenzialmente confrontando i valori delle Checklist OCRA ottenuti per il nuovo contesto lavorativo (capitolo 4.3) e per il reparto attuale. Preventivamente si può affermare che dedicando l'operatore parte del suo tempo ad attività di attrezzaggio robotico, interrompendo le azioni ripetitive consuete, l'ergonomia migliorerà come denotato dall'abbassamento del punteggio della Checklist.

Per un documento idoneo devono essere chiariti alcuni aspetti e terminologie:

- Azione tecnica (braccio destro): azione che svolge l'operatore tra un prelievo del lucido ed il successivo, nonché movimenti circolari e trasversali ripetuti destinati a distribuire il lucido sulla superficie della calzatura (figure 27 e 28);
- Azione tecnica (braccio sinistro): azione che permette di variare la posizione di presa della calzatura con l'arto che non lucida. In funzione dei filmati si nota che l'operatore cambia spesso la configurazione del braccio che tiene ferma la scarpa, coinvolgendo anche altre parti del corpo (l'addetto tende ad appoggiare l'oggetto sul petto per porsi nella posizione a lui più comoda, o in altri modi);
- **Ciclo: completamento della lucidatura di una calzatura in prima e seconda fase, 15/16 minuti circa;**
- Metà ciclo: completamento di una sola fase di lucidatura, 7/8 minuti;

Le definizioni sono state lievemente adattate al contesto di studio poiché in mansioni di questo tipo non è semplice distinguere concretamente le azioni tecniche, soprattutto per il braccio che non lucida tenendo salda la calzatura.

Una congrua redazione della Checklist OCRA esige **un’analisi dei tempi accurata**. Mantenendo lo stesso orario di lavoro del reparto attuale, considerando **un giorno di lavoro** e focalizzandosi **su un solo operatore**, dallo studio dei tempi **della nuova postazione** è emerso:

- Turno di lavoro dalle 8:00 alle 17:00, 15 minuti di pausa al mattino e un’ora di pausa pranzo;
- **Gli avvii del robot sono stati pari a dieci (l’automa ha lucidato quindi dieci scarpe in prima fase);**
- Il tempo dedicato dall’uomo al cobot è globalmente di 30 minuti (tempo destinato ad attività non ripetitive);
- Il tempo per togliere la calzatura, montarla e avviare il robot è di tre minuti;
- Cicli portati a termine = 24 (si traduce in lucidatura completa di 24 calzature);
- Cicli eseguiti a metà = 10 (sono le 10 scarpe lucidate in seconda fase manualmente una volta terminate in prima fase dalla macchina);

I tre minuti necessari per prestare servizio al robot sono stati determinati considerando tempi più realistici rispetto a quelli ottenuti dalla simulazione: indubbiamente il supporto fornito dal programma ha permesso di avere una visione più limpida ma considerazioni più concrete erano doverose, ritenendo che 180 secondi sia il tempo di cui richiede l’automa.

Le 10 lucidature in seconda fase eseguite dall’uomo, dal momento che il primo step è fatto dal robot, possono essere considerate pari a 5 cicli completi (sommando il tempo di due “metà cicli” si ottiene un ciclo); si giunge alla conclusione che **i cicli totali per operatore al giorno sono 29**.

Ogni operatore, quindi, è in grado di lustrare e preparare **17 paia di scarpe (complete) al giorno**.

Forniti i mezzi per completare la Checklist OCRA, essa verrà riportata di seguito dividendola come nel capitolo 3.1 per rendere i caratteri visibili. Le sezioni verranno illustrate brevemente. Sulla destra delle immagini seguenti sono riportati i punteggi parziali per ogni sezione.

| | | | |
|--|---|---|---|
| Azienda | Calzaturiera | Reparto | Lucidatura |
| Linea/postazione/complto | | N. Addetti | 1 |
| Breve descrizione del compito | Operatore applica il lucido in prima e seconda fase e serve il robot montando e smontando le scarpe da rifinire | | |
| PRESENZA DI COMPITO RIPETITIVO = il termine non e' sinonimo di presenza di rischio. La checklist va applicata quando il compito e' organizzato a cicli, indipendentemente dalla loro durata, o quando il compito e' caratterizzato dalla ripetizione degli stessi | | | <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO |
| <small>Se SI, compilare le parti successive</small> | | | |
| a. SINTESI DELLA DURATA NETTA DEI LAVORI RIPETITIVI IN GIORNATA MEDIA RAPPRESENTATIVA | | | |
| DURATA TURNO (min) LORDA | 540 | DURATA TURNO (min) EFFETTIVA | 480 |
| DURATA LAVORI NON RIPETITIVI (pulizie, approvvigionamenti.....) in minuti | | | 30 |
| N. PAUSE EFFETTIVE NEL TURNO (O ALTRE INTERRUZIONI COSTANTI DI ATTIVITA' DEGLI ARTI SUPERIORI), DI DURATA UGUALE O SUPERIORE A 8 MINUTI, ESCLUSA PAUSA MENSA considerabili come recuperi | | | 1 |
| NOTE: una pausa di 15 minuti durante la mattinata | | | |
| DURATA (in minuti) EFFETTIVA COMPLESSIVA DI TUTTE LE PAUSE O ALTRE INTERRUZIONI DI ATTIVITA' DEGLI ARTI SUPERIORI (COSTANTI E DI DURATA CONSECUTIVA DI ALMENO 8 MINUTI); ESCLUDERE LA PAUSA MENSA | | | 15 |
| NOTE: | | | |
| DURATA EFFETTIVA PAUSA MENSA SE PRESENTE INTERNA AL TURNO (RETRIBUITA) in minuti | | | |
| SE ESISTE UNA PAUSA MENSA DI ALMENO 30 MINUTI (NON RETRIBUITA, FUORI ORARIO DI LAVORO) O ALTRE INTERRUZIONI DI ATTIVITA' (COME TRASFERIMENTI IN ALTRE SEDI DELLA DURATA DI PIU' DI 30 MINUTI), INDICARNE IL NUMERO. | | | 1 |
| DESCRIZIONE DEL LAVORO RIPETITIVO | | | |
| Ci sono veri e propri cicli: scrivere il numero dei pezzi/lavoratore/turno | 29 | Durata media NETTA nel turno del lavoro ripetitivo (in minuti) | 435 |
| Ci sono veri e propri cicli: scrivere il tempo di ciclo osservato (in secondi) | 900 | | |
| non ci sono veri cicli ma si ripetono sempre le stesse azioni: scrivere (in secondi), il tempo di osservazione rappresentativo scelto | | DURATA del TEMPO TOTALE NETTO DI CICLO calcolato o CADENZA (secondi) | 900,0 |
| sono presenti tempi di recupero interni al ciclo | X | % differenza fra tempo di ciclo osservato e tempo di ciclo raccomandato | 0% |
| | | minuti non giustificati | 0 |
| | | | CALCOLO AUTOMATICO |
| | | | N. ORE SENZA ADEGUATO RECUPERO |
| | | | 0 |
| | | | MOLTIPLICATORE RECUPERO |
| | | | 1,000 |
| | | | 2 |
| | | | CALCOLO ANNUALE N. ORE SENZA ADEGUATO RECUPERO |
| | | | MOLTIPLICATORE DURATA |
| | | | 1 |

Figura 99 - Risultati sezione A Checklist OCRA (con robot).

Non è necessario specificare in questa sezione gli addetti, il sesso e altro. Figura 99 mostra come al tempo lordo di turno andranno sottratti 60 minuti di pausa mensa ottenendo un tempo effettivo di turno di 480 minuti; a quest'ultimo andranno scalate altre pause (15 minuti) e la durata dei lavori non ripetitivi (pari a 30 minuti in questo caso).

I 29 cicli hanno un corso di circa 900 secondi ciascuno (15/16 minuti); sono permessi tempi di recupero interni al ciclo poiché è l'addetto a gestire lo svolgimento delle sue mansioni, anche in presenza di robot.

| SPALLA | | GOMITO | | POLSO | | MANO | | | | DX |
|---|---|--------------------------------------|---------------------|---|--|--|---|-----------------------------|--|------------|
| BRACCIO ALTO | | FLESSO-ESTENSIONI E PRONO SUPNAZIONI | | FLESSO-ESTENSIONI E DEVIAZIONE RADIO-ULNARE | | PRESE DELLA MANO INCONGRUE (PINCH, UNCINO, PALMARE) | | | | |
| POSTURE INCONGRUE DEGLI ARTI SUP.A DX | | MENO DI 1/3 DEL TEMPO | CIRCA 1/3 DEL TEMPO | | CIRCA META' DEL TEMPO | CIRCA 2/3 DEL TEMPO | | CIRCA TUTTO IL TEMPO | | |
| | mano in presa pinch o palmare o uncino (non in grip) | | | | | X | | | | 4 |
| | braccio quasi ad altezza spalla | | | | | | | | | 1 |
| | deviazioni estreme del polso | | | | | | | | | 0 |
| | ruotazione completa di oggetti o esegue ampie flessio-estensioni del gomito | | | | | | | | | 0 |
| STEREOT. | durata del ciclo | sup.15 sec | | X | tra i 9 e i 15 sec. | | | uguale o inferiore a 8 sec. | | 0 |
| | ripetere sempre le stesse azioni tecniche | | | | buona parte del tempo (più della metà) | | X | pressochè tutto il tempo | | 1,5 |
| NOTE: La mano destra non svolge una vera e propria azione di grip, anche se la postura della mano è pressochè costante. L'indice e il medio sono fasciati con un tessuto che li tiene uniti, non piegati ma in posizione retta; quest | | | | | | | | | | 5,5 |

Figura 101 - Risultati sezione C, posture incongrue, Checklist OCRA (con robot).

Le posture incongrue e la stereotipia con i rispettivi punteggi sono mostrate in figura 101. L'azione dell'arto che lucida può essere comparata, a una mano in presa (in grip) dal momento che il panno è sempre intorno alle dita. Questa configurazione è stabile per circa 2/3 del tempo, anche poco più.

Per la stereotipia è corretto affermare che “sono eseguite le stesse azioni tecniche per più della metà del tempo”; il punteggio parziale per le posture inadeguate dell'arto superiore destro è pari a 5,5.

La nota nella parte bassa della figura spiega le motivazioni delle caselle scelte.

| POSTURE INCONGRUE DEGLI ARTI SUP.A SX | | MENO DI 1/3 DEL TEMPO | CIRCA 1/3 DEL TEMPO | | CIRCA META' DEL TEMPO | CIRCA 2/3 DEL TEMPO | | CIRCA TUTTO IL TEMPO | | SX |
|---|---|-----------------------|---------------------|---|--|---------------------|---|-----------------------------|--|------------|
| | mano in presa pinch o palmare o uncino (non in grip) | | | | | X | | | | |
| | braccio quasi ad altezza spalla | | | | | | | | | 1 |
| | deviazioni estreme del polso | X | | | | | | | | 1 |
| | ruotazione completa di oggetti o esegue ampie flessio-estensioni del gomito | | | | | | | | | 0 |
| STEREOT. | durata del ciclo | sup.15 sec | | X | tra i 9 e i 15 sec. | | | uguale o inferiore a 8 sec. | | 0 |
| | ripetere sempre le stesse azioni tecniche | | | | buona parte del tempo (più della metà) | | X | pressochè tutto il tempo | | 1,5 |
| NOTE: la mano sinistra si trova quasi tutto il tempo in posizione di grip, afferra sempre la scarpa in diversi modi posizionandola in modo tale da raggiungere i punti desiderati con la mano destra. | | | | | | | | | | 5,5 |

Figura 102 - Risultati sezione C, posture incongrue, Checklist OCRA (con robot).

L'analisi del braccio sinistro, in figura 102, risulta più intuitiva dal momento che è evidente l'azione di presa della calzatura. Per questa parte del corpo devono essere considerate anche deviazioni estreme del polso (per meno di un terzo del tempo) chiaramente visibili nei filmati.

| | | MENO DI 1/3 DEL TEMPO | CIRCA 1/3 DEL TEMPO | CIRCA META' DEL TEMPO | CIRCA 2/3 DEL TEMPO | CIRCA TUTTO IL TEMPO | 7 | |
|--|--|--|--------------------------|--|---------------------|---|---|--------------------|
| FORZA LATO DESTRO | uso di forza moderata in uso attrezzi o ogni altra azione lavorativa | | | X | | | 8 | 4 |
| picchi di forza FORTE (Borg 5-6-7) in uso attrezzi o ogni altra azione lavorativa | picchi di 1-2 secondi ciascuno ogni 10 minuti | | intorno all'1% del tempo | intorno al 5% del tempo | | intorno al 10% del tempo e oltre | | 0 |
| picchi di forza INTENSA (Borg 8-9-10) in uso attrezzi o ogni altra azione lavorativa | picchi di 1-2 secondi ciascuno ogni 10 minuti | | intorno all'1% del tempo | intorno al 5% del tempo | | intorno al 10% del tempo e oltre | | 0 |
| NOTE SULL'USO DELLA FORZA: la pressione applicata è molto ridotta poiché con indice e medio distribuisce il lucido lungo la scarpa e con movimenti circolari, ellittici e trasversali lo rende uniforme. Non è richiesta forza | | | | | | | | 4 |
| | | MENO DI 1/3 DEL TEMPO | CIRCA 1/3 DEL TEMPO | CIRCA META' DEL TEMPO | CIRCA 2/3 DEL TEMPO | CIRCA TUTTO IL TEMPO | 7 | |
| FORZA LATO SINISTRO | uso di forza moderata in uso attrezzi o ogni altra azione lavorativa | X | | | | | 8 | 1 |
| picchi di forza FORTE (Borg 5-6-7) in uso attrezzi o ogni altra azione lavorativa | picchi di 1-2 secondi ciascuno ogni 10 minuti | | intorno all'1% del tempo | intorno al 5% del tempo | | intorno al 10% del tempo e oltre | | 0 |
| picchi di forza INTENSA (Borg 8-9-10) in uso attrezzi o ogni altra azione lavorativa | picchi di 1-2 secondi ciascuno ogni 10 minuti | | intorno all'1% del tempo | intorno al 5% del tempo | | intorno al 10% del tempo e oltre | | 0 |
| NOTE SULL'USO DELLA FORZA: la mano sinistra, per tenere sempre in grip la scarpa, necessita di forza lievi. Spesso la scarpa è appoggiata sul piano di lavoro. | | | | | | | | 1 |
| | | | | | | | | P. FORZA DX |
| | | | | | | | | P. FORZA SX |
| COMPLEM. | uso martelli, mazze per colpire | | | | | più della metà del tempo | | |
| RISCHI FISICI | uso delle mani per dare colpi | | | | | frequenza di almeno 10 volte/ora | | |
| | uso strumenti vibranti (MARTELLI PNEUNATIC, FRESE ECC. E AVVITATORI SE DETERMINANO CONTRACCOLPI) | | | | | almeno 1/3 del tempo | | |
| | altro: indicare solo quelli elencati nel foglio di commento allegato | | | | | descrivere nella parte in bianco a sinistra il fattore o i fattori presenti e barrare la casella/a a destra | | |
| COMPLEM. ORGANIZZATIVI | ritmo imposto dalla macchina | ritmo imposto con possibilità di modulazione | X | ritmo imposto: lavoro su linea in scorrimento a velocità molto lenta | | ritmo imposto senza possibilità di modulazione su linea in movimento | | 1 |
| NOTE: | | | | | | | | PUNTEGGIO COMPLEM. |
| | | | | | | | | 1 |
| | | | | | | | | 1 |

Figura 103 - Risultati sezione C, forza e fattori complementari, Checklist OCRA (con robot).

Per il lato destro del corpo è stato ipotizzando un uso di forza moderato. Sottoporre gli addetti ad interviste, come richiede l'analisi Borg, avrebbe prodotto dati concreti e veritieri; supporre un utilizzo moderato del fattore forza è comunque una buona rappresentazione del quadro generale tenendo conto, in particolar modo, della percezione avuta analizzando le esecuzioni delle lavorazioni tramite video. Visivamente le azioni svolte non sembrano richiedere particolare vigore.

Considerazioni pressoché uguali sono state fatte per l'arto sinistro, per un tempo minore.

Non vi è la presenza di alcun fattore complementare, ma risulta fondamentale indicare che la collaborazione avverrà mediante “ritmo imposto con possibilità di modulazione”. Questa modalità di impiego della cella robotica garantisce un punteggio contenuto essendo l’operatore ad imporre il ritmo.



Figura 104 - Risultati sezione D Checklist OCRA (con robot).

La sezione in figura 104 mostra il valore globale del documento. I valori finali, per lato destro e sinistro, si collocano nella fascia gialla di rischio da sovraccarico biomeccanico, rappresentando di fatto una zona borderline o rischio molto lieve (figura 22).

Come facilmente prevedibile, il braccio che lustra la calzatura ha un indice leggermente superiore rispetto all’altro arto.

In conclusione, dotare la postazione di robot, garantisce un OCRA accettabile.

I termini di figura 104 saranno confrontati con l’OCRA della postazione attuale sottostante.



Figura 105 - Risultati sezione D Checklist OCRA (senza robot).

Sarebbe ridondante ripercorrere tutti i passaggi poiché la lucidatura avviene allo stesso modo nelle due postazioni: l'unica differenza è data dal tempo che l'addetto deve dedicare all'automa, interrompendo la lucidatura, descrivendo una circostanza positiva dal punto di vista ergonomico. Sulla base di queste considerazioni non sorprende un punteggio peggiore relazionato alla postazione attuale. Figura 105 evidenzia chiaramente la collocazione in fascia rossa di quest'ultima.

Il fattore recupero ha inciso particolarmente sull'aumento del punteggio: nella postazione simulata il tempo dedicato al robot viene interpretata dalla Checklist come un fattore di recupero poiché viene interrotta l'attività ripetitiva; questa condizione non è presente nel reparto attuale, ragion per cui il documento non rileva la presenza di "sospensioni" o per meglio dire "lavori non ripetitivi".

Tutte gli altri coefficienti (forza, posture incongrue, fattori complementari) hanno lo stesso punteggio parziale nei due casi.

6 – CONCLUSIONI

Dotare la postazione di un sistema robotizzato, a supporto dell'operatore, ha introdotto dei rischi sui quali sono state fatte analisi attraverso la valutazione dei rischi. Non è stato difficile trovare soluzioni correttive che hanno annullato i pericoli riscontrati: il Laser Scanner mitiga tutti i rischi identificati, rappresentando a tutti gli effetti il dispositivo più adatto al reparto; il costo però, potrebbe essere proibitivo per le piccole e medie imprese che hanno intenzione di usufruire di sistemi intelligenti. Le barriere sono "l'alternativa" economica che non richiede particolari costi di installazione e di acquisto, nonostante queste ultime si allontanino lievemente dal concetto di robotica collaborativa, avvicinandosi alla robotica tradizionale. Ad ogni modo, per questa tesi, entrambi i sistemi (insieme ad altri accorgimenti) hanno annullato il rischio rendendo l'utilizzo del robot sensato e proficuo.

Anche l'ergonomia ha subito un miglioramento evidente, passando dalla fascia rossa a quella gialla, grazie soprattutto ad una diminuzione della frequenza di lavoro che non ha intaccato la produttività.

Merita attenzione anche il rischio psicologico: la velocità con cui il robot collabora può corrispondere ad un tasso di produzione inadatto all'operatore. Gli addetti non sono più concentrati esclusivamente sull'esecuzione dei loro compiti, ma anche sull'anticipare e al sincronizzare i loro movimenti in relazione al cobot. La postazione pensata e simulata non è soggetta a questo tipo di rischio essendo l'operatore il responsabile del funzionamento della macchina, stabilendo personalmente cicli e ritmi di lavoro.

Infine, la produttività ha subito un netto incremento. Nella configurazione attuale le paia di scarpe lucidate da ogni operatore al giorno sono 16, non tutte terminate completamente ma solo in parte (punta e toppone). Al contrario, la nuova postazione ha fatto registrare 17 paia lucidate totalmente: questo risultato è stato ottenuto nonostante la presenza del robot abbia diminuito l'attività di lucidatura manuale di 30 minuti al giorno (effettivi), e con le stesse ore di lavoro nell'arco del turno. Il risultato è assolutamente positivo.

Concludendo, sono stati pensati ulteriori scenari migliorativi di cui può beneficiare il reparto.

Il primo aspetto riguarda la velocità con cui opera il robot attualmente, essendo essa pari a 3 cm/s. Nella valutazione del rischio relativa agli urti si è visto che la velocità limite

massima con cui può lucidare il robot è pari a 68 cm/s, rimanendo comunque in regime di danni lievi alla persona.

È evidente il divario tra i due valori, situazione che deve portare ad una riflessione su un possibile aumento della velocità con cui far lavora il cobot; si ridurrà in questo modo il tempo di lucidatura portandolo al di sotto dei 44/45 minuti attuali.

Durante la pausa pranzo gli operatori spegneranno le macchine per tutta la durata dell'ora di riposo. Sarebbe opportuno studiare un sistema destinato all'automatizzazione del carico e dello scarico delle calzature dal supporto: un meccanismo di questo genere garantirebbe lo svolgimento dell'attività di lucidatura robotizzata anche durante le pause, incrementando ancora di più la produttività, eliminando i così detti "tempi morti".

L'ultimo aspetto migliorativo riguarda l'installazione di due robot per operatore nella postazione. Come spiegato nei capitoli precedenti, l'aggiunta di un ulteriore macchina deve essere affrontata con una nuova valutazione del rischio per esaminare i pericoli che possono emergere.

L'analisi dei tempi di questa configurazione, caratterizzata dalla presenza di due automi, ha evidenziato una produttività pari a 22 paia di calzature lucidate completamente ogni giorno per operatore. Un incremento del 30% circa rispetto alla soluzione con un solo robot.

Questi nuovi contesti meritano di essere esaminati concretamente.

7 – BIBLIOGRAFIA

- Elaborazione The European House - Ambrosetti su dati Worldbank, 2022.
- Elaborazione The European House - Ambrosetti su dati Eurostat, 2022.
- www.salute.gov.it.
- L'impatto del Covid-19 sui fallimenti e le uscite dal mercato delle imprese italiane – Banca d'Italia 01/2022.
- Elaborazione The European House - Ambrosetti su dati International Federation of Robotics, 2022.
- www.universal-robots.com.
- ISO/TS 15066:2016 Robots and robotic devices – Collaborative robots.
- COLOMBINI D., OCCHIPINTI E., 2015. L'analisi e la gestione del rischio nel lavoro manuale ripetitivo. Manuale per l'uso del sistema OCRA per la gestione del rischio da sovraccarico biomeccanico in lavori semplici e complessi. Edito da Franco Angeli.
- www.istat.it.