



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

Facoltà di Ingegneria

*Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze
Matematiche*

CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN INGEGNERIA
MECCANICA (D.M. 270/04)

SIMULAZIONE DI STAZIONI ROBOTIZZATE
NELL'AMBIENTE PROCESS SIMULATE DI TECNOMATIX

SIMULATION OF ROBOTIC CELLS IN PROCESS
SIMULATE ENVIRONMENT BY TECNOMATIX

Relatore:

Prof. Matteo Claudio Palpacelli

Tesi di Laurea di:

Giovanni Pierini

Anno Accademico: 2019/2020

Indice

Introduzione	4
Obiettivi	5
Sommario	6
1 L'importanza della simulazione	7
2 Software	9
2.1 Introduzione	9
2.2 Process Simulate	9
2.3 Cenni sulla struttura del software e concetti principali	12
3 Costruzione di una stazione	14
3.1 Introduzione	14
3.2 Impostazione del layout	18
3.3 Flusso degli oggetti	18
3.4 Robot	20
3.5 <i>Material Handling</i>	29
3.5.1 Cos'è un'operazione di <i>pick and place</i> ?	29
3.5.2 <i>End effector</i>	31
3.5.3 Concetti principali sulle operazioni di <i>pick and place</i> in Process Simulate	36
3.6 <i>Sequence Editor</i>	43
3.7 Collisioni	45
4 <i>Human Simulation</i>	48
4.1 Introduzione	48
4.2 Human Simulation in Process Simulate	49
4.3 Cos'è l'ergonomia?	51
4.4 Cenni sull'ergonomia in Process Simulate	53

5	<i>Virtual Commissioning</i>	58
5.1	Introduzione e contestualizzazione	58
5.2	Di cosa si tratta?	59
5.3	Benefici di VC	62
	Conclusioni	63
	Bibliografia e Sitografia	64

Introduzione

In qualsiasi azienda, manifatturiera e non, analizzare l'organizzazione nel suo insieme per valutarne l'efficienza, o implementare progetti di miglioramento è certamente di importanza strategica ma costituisce anche una sfida piuttosto complicata.

Un valido aiuto ai professionisti è costituito dalla simulazione, resa efficace e possibile dalla disponibilità di opportuni software. Un progetto di simulazione correttamente implementato permette infatti di valutare situazioni e ipotesi, in tutti i processi, procedure ed attività che compongono una certa azienda, ottenendo risposte con un livello di precisione altrimenti difficile da raggiungere.

L'utilizzo della simulazione, dopo aver visto la luce nel corso del 19° secolo con alcuni esperimenti scientifici, ha avuto un forte impulso, alla pari di altri strumenti utilizzati ora in ambito aziendale, in campo militare nel corso della seconda guerra mondiale per poi riprendere vigore con l'avvento dei calcolatori elettronici. Questi permettono, infatti, di simulare, in un intervallo di tempo relativamente breve, eventi e processi anche molto complessi e che nella realtà necessitano di molti giorni, mesi o addirittura anni.

Obiettivi

Questa relazione è frutto di un lavoro di tirocinio svolto sul software Tecnomatix Process Simulate Standalone offerto da Siemens AG. Le finalità del tirocinio erano quelle di capire come si realizza una stazione robotizzata all'interno del software e simularne il funzionamento in ambiente virtuale. Questo documento si propone di offrire un'analisi del software, la quale ha come obiettivo l'approfondimento di alcuni aspetti importanti del suo utilizzo, oltre che una valutazione degli strumenti offerti dal programma. La filosofia adottata per esporre gli argomenti è quella di prendere come riferimento la stazione realizzata in fase di tirocinio, analizzarla nei vari aspetti, riportando le problematiche presenti nel mondo reale e fornendo una descrizione di come il software consente di far fronte a tali problematiche. In fase di tirocinio si è cercato di realizzare una stazione che coinvolgesse vari segmenti di un processo di fabbrica, al fine di poter offrire in questa relazione una panoramica il più possibile completa. Un altro importante obiettivo è quello di far emergere tramite questo documento, direttamente e non, l'importanza della simulazione nell'industria odierna.

Sommario

Al fine di ottenere una buona organicità nell'esposizione degli argomenti, e al fine di rendere la trattazione il più possibile chiara, in questo capitolo si ha l'obiettivo di riassumere la logica con la quale gli argomenti sono esposti. Il documento si apre con un capitolo dedicato all'importanza della simulazione nell'industria odierna, tale capitolo ha lo scopo di descrivere il contesto in cui si inserisce il concetto di simulazione. Il capitolo 2 tratta una panoramica generale sul software utilizzato, Process Simulate Standalone. Il capitolo 3 e il capitolo 4 sono considerati il corpo centrale del documento, nei quali vengono descritti con l'approccio precedentemente esposto gli strumenti più importanti offerti dal software, visti dalla prospettiva dei vari segmenti di cui si compone la stazione creata in fase di tirocinio; tali capitoli trattano rispettivamente la parte di robotica e assembly, e la simulazione umana. L'ultimo capitolo è dedicato al *Virtual Commissioning*, un concetto fondamentale nel campo delle simulazioni dei processi di fabbrica. Tale capitolo prevede prima una breve introduzione su cosa si intende per *Virtual Commissioning* e poi affronta l'argomento dal punto di vista del software, che sarà la filosofia adottata per trattare tutti gli argomenti esposti nella relazione.

1 L'importanza della simulazione

La fase di lancio di un nuovo prodotto da parte di un'azienda è preceduta da un processo chiamato studio di fattibilità. Lo studio di fattibilità punta ad analizzare la fattibilità economica, organizzativa e tecnica del progetto e precede la fase di avvio di un progetto dovendone valutare le motivazioni e le opportunità. Le valutazioni in essa contenute costituiscono la premessa alla fase di pianificazione che sarà il progetto definitivo, e sono unicamente finalizzate a decidere se avviare o meno il progetto. E' possibile strutturare tale processo nelle seguenti fasi:

- studio del prodotto: raccolta sistematica di idee e successiva selezione tramite analisi quali-quantitativa;
- studio del processo tecnologico: noto il prodotto è necessario valutare qual è il ciclo di lavorazione caratteristico del prodotto in questione (precedentemente razionalizzato e standardizzato);
- studio dei servizi: è importante valutare il parco macchine e i servizi di cui si ha bisogno per realizzare il prodotto;
- studio economico: valutazione economica dell'iniziativa al fine di stabilire un prezzo di vendita e la quantità produttiva ottimale.

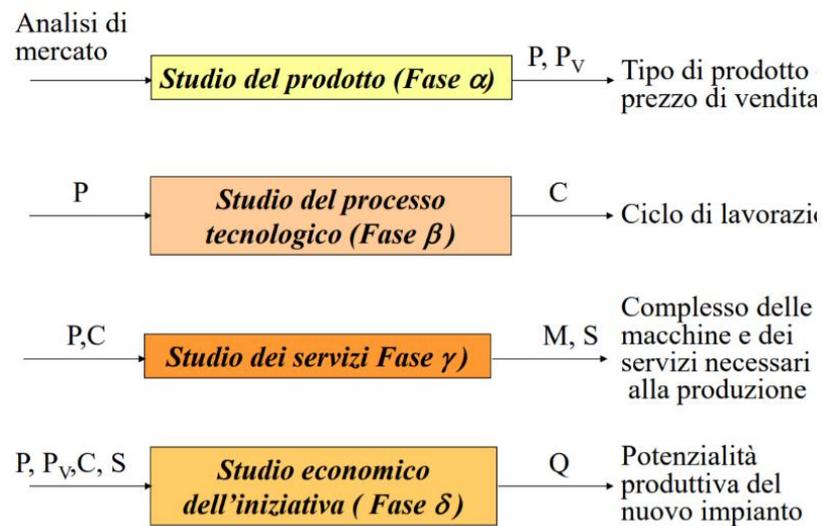


Fig. 1 Schema semplificato delle varie fasi che compongono lo studio di fattibilità di un nuovo prodotto. L'immagine è stata presa dal materiale del corso di Impianti Meccanici tenuto dal Prof. Giancarlo Giacchetta (UNIVPM).

In sintesi, quando l'ingegneria introduce nuove progettazioni di prodotto, è importante che tali progettazioni vengano valutate e le informazioni trasmesse ai sistemi e organizzazioni a valle. In questo processo è importante eseguire non solo simulazioni ingegneristiche sul prodotto, ma anche simulazioni della produzione. Possiamo effettivamente costruire il prodotto in base alla nostra progettazione? Rispetterà i requisiti di tempo di ciclo che ci aspettiamo? A tutte queste domande può essere data una risposta eseguendo simulazioni del processo nell'ambito di uno strumento di simulazione. La simulazione del processo può prendere in considerazione diversi fattori, tenendo conto dei processi produttivi svolti dalle persone e dalle macchine. La modellazione di persone, robot, trasportatori, utensili e la creazione di elementi di processo tipici possono essere utilizzate per capire davvero il processo e trovare opportunità di miglioramento.

2 Software

2.1 Introduzione

Questo capitolo è dedicato ad una panoramica su Tecnomatix, un fornitore di software di gestione del processo di produzione e di gestione del ciclo di vita del prodotto per i settori dell'elettronica, automobilistico, aerospaziale e delle apparecchiature pesanti, attualmente di proprietà di Siemens AG . Tecnomatix offre un portafoglio di soluzioni a tal fine: Tecnomatix Process Simulate Standalone, Tecnomatix Plant Simulation, Siemens NX, etc. In particolare l'attenzione verrà posta sul software che è stato utilizzato in questa esperienza: Process Simulate Standalone.

2.2 Process Simulate

Process Simulate è un insieme di strumenti di studio in servizio all'ingegneria che realizzano nel complesso un ambiente 3D dinamico in grado di facilitare la verifica, sotto molteplici aspetti, dei processi di fabbricazione e assemblaggio dell'industria manifatturiera. Questo software costituisce anche un'importante fattore di rapidità di adattamento al mercato, perché permette alle aziende la convalida virtuale, l'ottimizzazione e la messa in atto di processi produttivi anche molto complessi, con conseguenti immissioni sul mercato più rapide e maggiori qualità di produzione.

Process Simulate consente la verifica di diversi segmenti del processo di fabbricazione:

- *Basic tasks*: realizzare il layout di uno studio, creare o modificare i componenti e robot necessari per realizzare il processo (tramite la modellazione 3D e cinematica), verificare le collisioni fra vari oggetti durante la simulazione, creare video e immagini utili all'ingegnere ai fini dello studio del processo.
- *Human simulation*: verificare il design di una postazione di lavoro, garantendo che le parti del prodotto possano essere raggiunte, assemblate e mantenute. Process Simulate *Human* permette l'analisi e l'ottimizzazione dell'ergonomia degli interventi umani, garantendo così un processo ergonomicamente sicuro secondo gli standard del settore. Utilizzando gli strumenti di simulazione umana, l'utente può eseguire una simulazione realistica delle attività umane e ottimizzare i tempi di ciclo di processo secondo le norme industriali standard sull'ergonomia.
- *Assembly*: verificare la fattibilità di un processo di assemblaggio, consentendo agli ingegneri di produzione di determinare la sequenza di montaggio più efficiente, di rispettare le distanze per evitare collisioni, e identificare il più breve tempo di ciclo possibile.
- *Robotic simulation*: progettare e simulare postazioni altamente complesse di produzione robotizzata. La sincronizzazione di zone con più robot è semplificata da strumenti di simulazione. Gli strumenti di simulazione robotica danno la possibilità di progettare un percorso senza collisioni per tutti i robot e di ottimizzare i loro tempi di ciclo.

- *Virtual Commissioning*: l'ambiente di simulazione fornisce una piattaforma di integrazione comune per le varie discipline che partecipano all'effettiva messa in servizio di una zona/cella di produzione. Utilizzando *Process Simulate Commissioning*, gli utenti possono simulare l'effettivo codice PLC con l'hardware reale utilizzando OPC¹ e i programmi robot effettivi, ottenendo in tal modo l'ambiente di collaudo virtuale più realistico possibile.

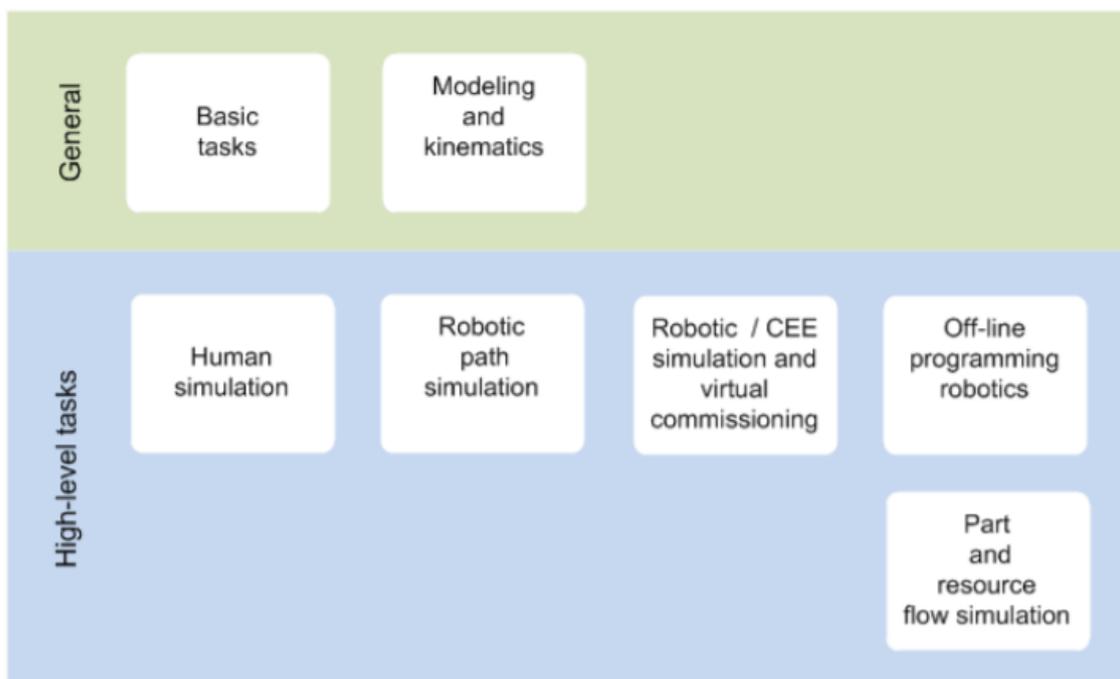


Fig. 2. Tabella riassuntiva delle funzioni offerte da Process Simulate.

Principali input in Process Simulate:

- prodotto: composto da varie parti collegate fra loro opportunamente;
 - processo: ciclo di lavorazione del prodotto, ovvero la sequenza delle operazioni che devono essere effettuate per ottenere il prodotto finito;
1. OPC: un meccanismo informatico in grado di assicurare un'elevata interoperabilità tra le applicazioni di controllo, comando, supervisione e gli apparati industriali, come i PLC.

- layout: disposizione delle risorse all'interno della cella e organizzazione dello spazio in generale.

Principali output in Process Simulate (esempi):

- assemblaggio/disassemblaggio di prodotti;
- raggiungibilità del robot in tutte le sue operazioni, valutazione del tempo ciclo, analisi sui controlli del robot;
- raggiungibilità dell'operatore umano, valutazione degli standard relativi all'ergonomia;
- analisi delle collisioni;
- programma da implementare al robot.

2.3 Cenni sulla struttura del software e concetti principali

Le tipologie di oggetti che è possibile trovare all'interno di uno studio sono quattro:

- *parts*: tutti quei componenti che vanno a comporre il prodotto oggetto della simulazione, ad esempio tutte le parti di cui è composto il prodotto finito di una linea di assemblaggio;
- *operations*: le azioni da svolgere al fine di comporre il prodotto finito. L'*operation tree* contiene tutte le operazioni e descrive l'ordine con cui verranno effettuate;
- *resources*: le strutture che compongono la stazione, ad esempio nastri trasportatori, banchi di lavoro, apparecchi, robot...



2 SOFTWARE

- *manufacturing features*: sono usati per rappresentare delle relazioni speciali fra parti diverse. Esempi sono i punti di saldatura o le curve che rappresentano il percorso di un robot.



Questi oggetti sono spesso utilizzati da robot.

In Process Simulate uno studio è un file tramite il quale è possibile creare una simulazione. Per creare una simulazione è bene avere una libreria a disposizione, un deposito di parti e risorse standard, tramite la quale la creazione dello studio viene semplificata e lo studio stesso viene standardizzato. Le librerie possono essere importate o possono essere create tramite la sezione *modeling* del software. Un componente (.cojt) è l'oggetto 3D fisico che costituisce una parte o una risorsa, che viene appunto creata tramite la sezione *modeling* o importata dalla libreria.

Come si può osservare dalla fig.3, il software utilizza un'interfaccia simile a quella delle applicazioni dei software di Microsoft Office.

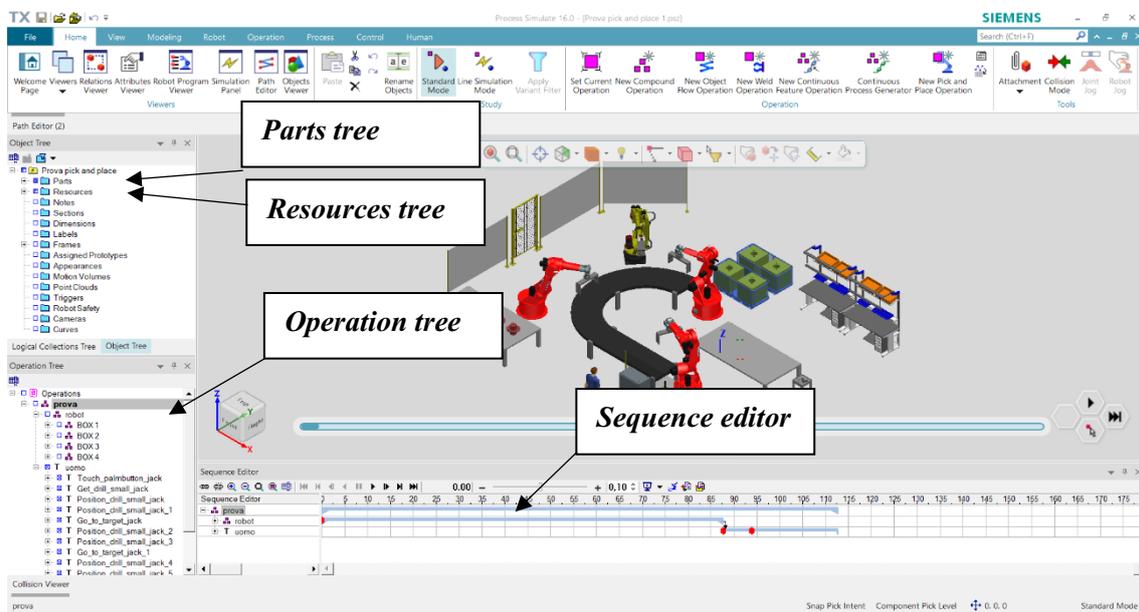


Fig. 3. Schermata tipo del software. E' possibile osservare le similarità con i programmi del pacchetto Office di Windows.

3 Costruzione di una stazione

3.1 Introduzione

Lo scopo di questa esperienza era quello di capire come si realizza una stazione robotica e come si impartiscono i compiti ai robot nel simulatore Siemens. A tal proposito si è pensato di approfondire lo studio di una linea di assemblaggio in cui i task sono svolti sia da robot che da un operatore. La simulazione è utile per tanti scopi, tra i quali il calcolo del tempo ciclo, ovvero il tempo che intercorre tra l'uscita di un pezzo dalla linea e l'uscita del successivo. Tale tempo è importante per valutare quante stazioni predisporre e quali task comprendere in ognuna. La stazione in esame è dunque costituita da una linea di assemblaggio composta da tasks che consistono nell'infilare un perno flangiato in un blocco a forma di parallelepipedo con un foro al centro e con due fori filettati per il fissaggio del perno.

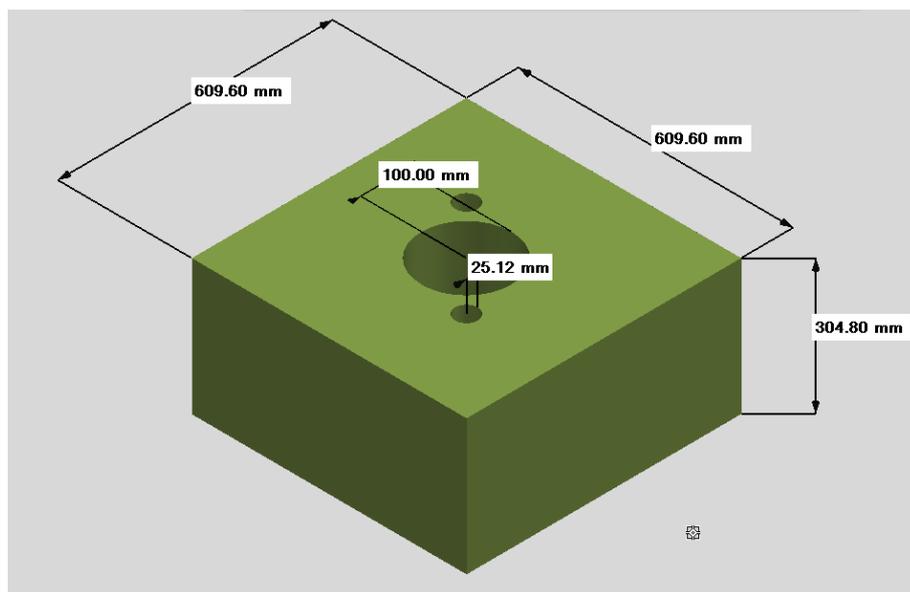


Fig. 4 Rappresentazione quotata del blocco forato al centro. Immagine esportata da Process Simulate.

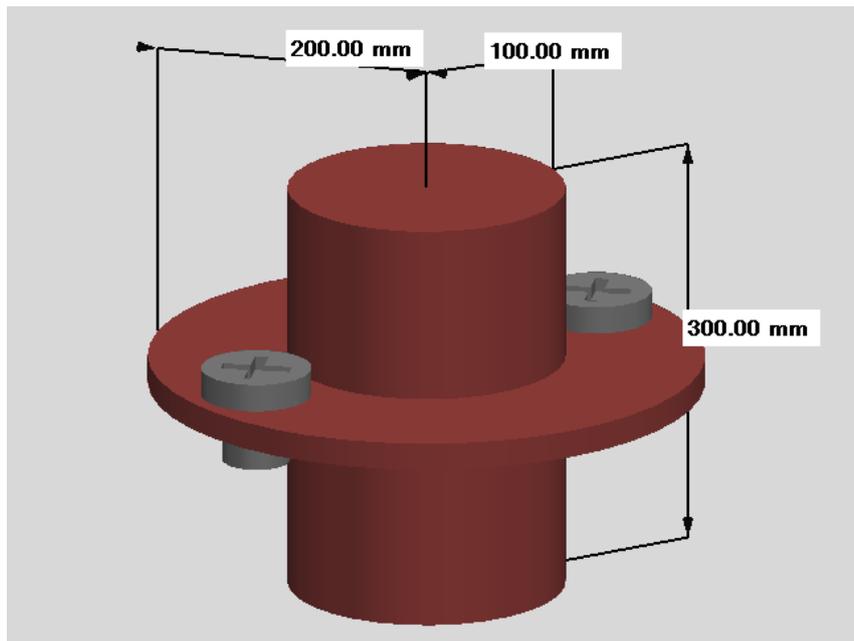


Fig. 5. Rappresentazione quotata del perno flangiato. Immagine esportata da Process Simulate.

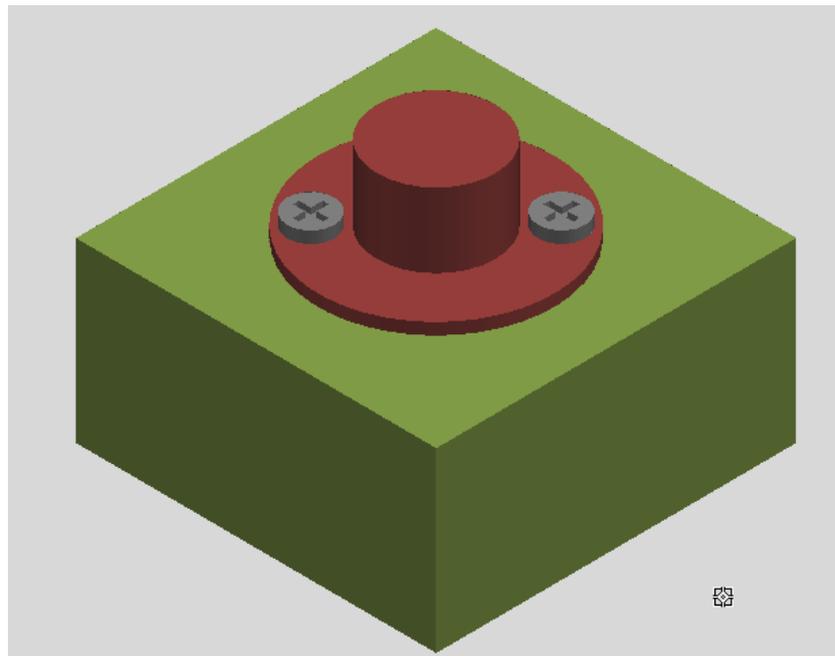


Fig. 6. Prodotto assemblato. Immagine esportata da Process Simulate.

La linea è composta da tre robot che eseguono delle operazioni di *material handling* e da un operatore che compie una serie di azioni. Il primo robot preleva i blocchi verdi da degli appositi contenitori e li posiziona su un nastro trasportatore; il secondo robot preleva il perno da un banco di lavoro e lo inserisce nel foro del blocco che nel frattempo si è fermato in prossimità del robot in questione, per permettergli di compiere l'operazione; il terzo robot preleva il prodotto assemblato e lo carica su un banco di lavoro. Un ciclo di lavorazione è composto dall'assemblaggio di quattro prodotti, dopodiché l'operatore interviene eseguendo le seguenti operazioni: bloccaggio di sicurezza dei robot tramite un apposito pulsante, presa dell'avvitatore, avvitamento delle singole viti di ogni prodotto.

Le risorse impiegate sono:

- nastro trasportatore;
- transenne di sicurezza;
- cancello di sicurezza;
- robot Reis RV40;
- containers;
- banchi di lavoro;
- box gripper;
- avvitatore;
- armadietto PLC;
- pulsantiera.

3 COSTRUZIONE DI UNA STAZIONE

Le parti in lavorazione sono:

- blocchi forati;
- perni flangiati;
- viti.

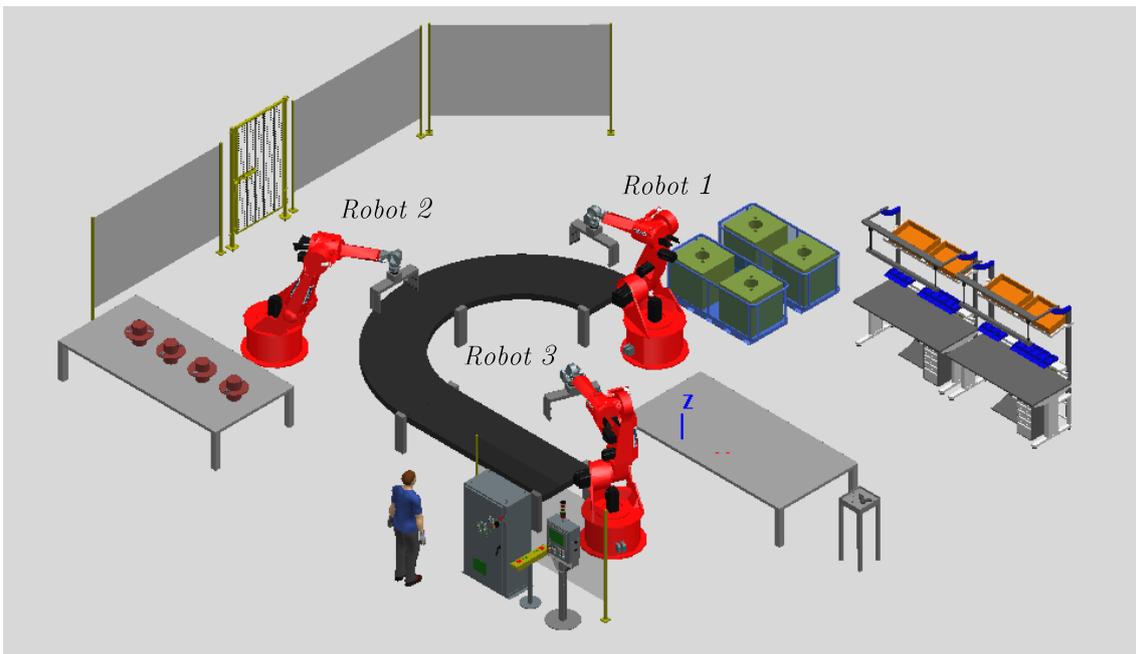


Fig. 7. Raffigurazione della stazione creata in fase di tirocinio. Immagine esportata da Process Simulate.

Nel seguito della trattazione verranno approfonditi alcuni aspetti della stazione e di come è stata costruita.

3.2 Impostazione del layout

Come è stato detto nel capitolo 2, tra gli input da fornire al software di simulazione è presente il layout, ovvero è necessario conoscere la disposizione di tutte le risorse all'interno della cella della quale si vuole simulare il funzionamento. A tale scopo una volta che è stato creato un nuovo studio e si dispone di una libreria, il primo passo da compiere è inserire tutte le risorse all'interno dello studio, in modo da riprodurre il layout in modo funzionale, ovvero in modo da mantenere l'organicità necessaria.

Nell'esperienza in questione le risorse utilizzate provengono dalla libreria fornita da Siemens Learning Advantage, mentre le parti in lavorazione sono state create attraverso la sezione *modeling* del software.

3.3 Flusso degli oggetti

Prima di impartire le operazioni ai robot è necessario assegnare un percorso agli oggetti lungo la linea di assemblaggio, ovvero fornirgli una serie di traslazioni e rotazioni ben impostate per far sì che essi si muovano da una posizione ad un'altra. Si tratta di una serie di posizioni fissate che l'oggetto deve assumere nell'ordine e nei tempi impostati. Per far ciò all'interno del software è necessario selezionare l'oggetto in questione e dalla sezione "Operation" selezionare "New Object Flow Operation", dopodiché si aprirà una finestra di dialogo in cui è possibile inserire la

posizione di inizio e la posizione di fine percorso. L'operazione creata è visualizzabile e simulabile dal *Sequence Editor*. Inizialmente è comodo creare un percorso preliminare, poi simularlo e definirlo dettagliatamente aggiungendo altre posizioni.

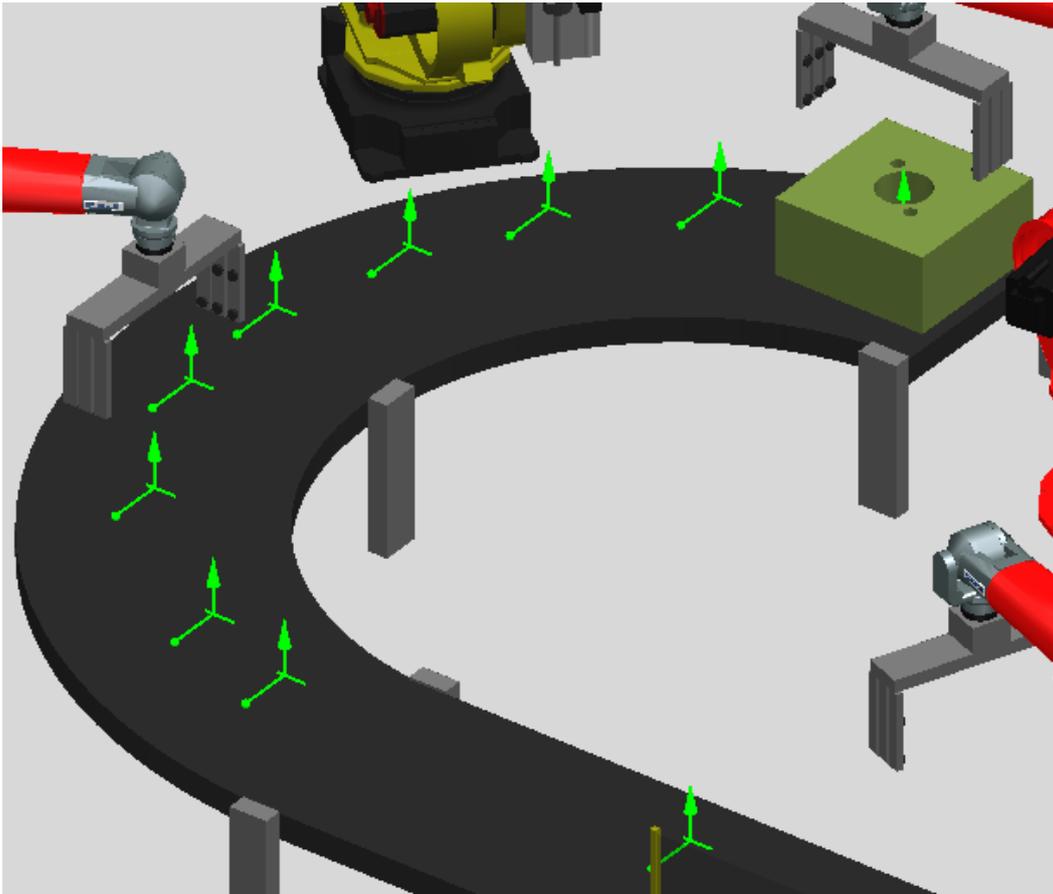


Fig. 8. Posizioni assegnate agli oggetti in lavorazione per farli muovere lungo il nastro trasportatore. Nell'assegnare una posizione è importante prestare attenzione all'orientamento della terna di assi che costituisce la nuova posizione.

3.4 Robot

Il robot è un manipolatore multifunzionale riprogrammabile, progettato per muovere materiali, parti, attrezzi o dispositivi specialistici attraverso vari movimenti programmati, per l'esecuzione di diversi compiti (*Robot Institute of America*, 1980).

La struttura meccanica dei robot è costituita da una sequenza di elementi meccanici connessi tra loro da giunti (*joint*) che ne consentono il moto relativo. I singoli elementi (*link*) possono essere connessi tra loro in serie od in parallelo. La struttura è seriale quando i singoli elementi sono collegati l'uno all'altro come gli anelli di una catena; è parallela quando tutti gli elementi sono collegati sia a terra sia all'estremità della struttura tramite dei giunti rotoidali. L'approccio seriale garantisce una più ampia possibilità di movimento, mentre quello parallelo permette di ottenere una maggiore rigidità. Le strutture seriali, definite dalla meccanica applicata catene cinematiche aperte, attualmente, sono di gran lunga le più diffuse in ambito industriale. Nel caso di strutture seriali, il manipolatore è costituito da una serie di corpi rigidi connessi da giunti. Un'estremità della catena è costituita dalla base, di norma fissata terra. All'altra estremità è presente l'*end effector* (pinza, strumento di lavoro).

Applicazioni tipiche:

- assemblaggio;
- saldatura a punti;
- saldatura ad arco;

- movimentazione;
- carico/scarico macchine;
- sigillatura o siliconatura.

Il robot utilizzato nella stazione creata in fase di tirocinio è un robot a 6 assi, modello Reis RV40. I robot industriali hanno varie configurazioni degli assi, quelli più articolati vantano 6 assi, i primi tre realizzano il posizionamento, gli ultimi tre (polso) danno l'orientamento. Tali manipolatori sono anche detti antropomorfi. I bracci antropomorfi sono realizzati con l'utilizzo esclusivo di giunti rotoidali e questa scelta permette di semplificare le lavorazioni meccaniche, che verranno eseguite soltanto su superfici di rivoluzione. Questi robot sono detti antropomorfi in quanto riproducono abbastanza fedelmente le possibilità di movimento di un braccio umano. Il volume di lavoro può essere considerato, in prima approssimazione, come una porzione di sfera.



Fig. 9. Raffigurazione reale del robot Reis RV40.



Fig. 10. Riproduzione del robot Reis RV40 all'interno del software. Si può notare la fedeltà con cui è riprodotto.

3 COSTRUZIONE DI UNA STAZIONE

Dal software di simulazione è possibile analizzare la catena cinematica che realizza il robot, identificare i *link* che compongono il robot, e analizzare la cinematica diretta e inversa. La catena cinematica è visualizzabile dal comando “Kinematics Editor” che si trova nella sezione *modeling*, dopo aver selezionato il robot. La finestra di dialogo che si apre è quella di fig.11.

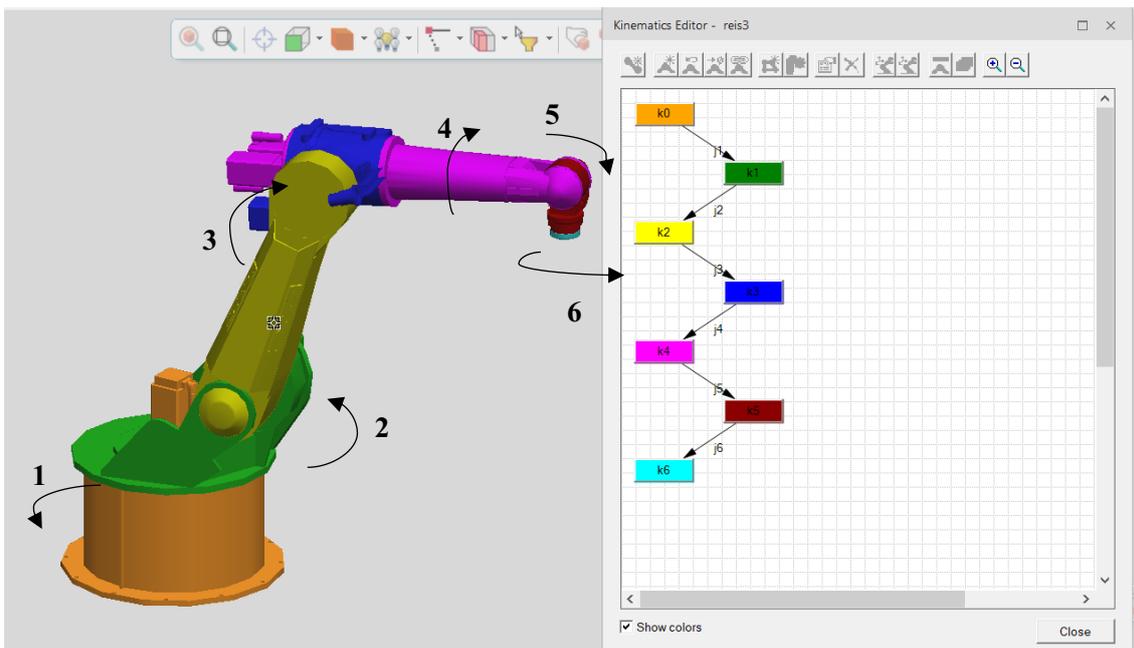


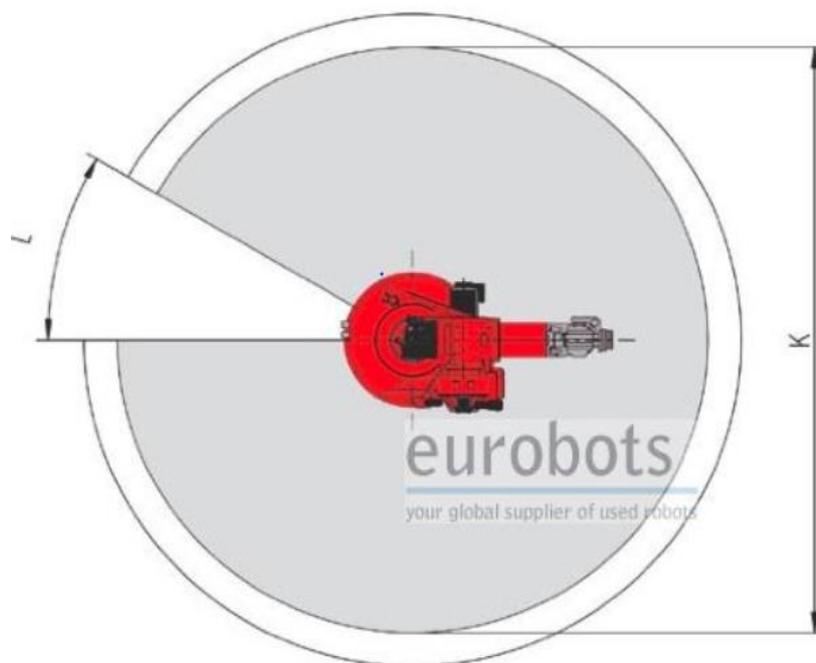
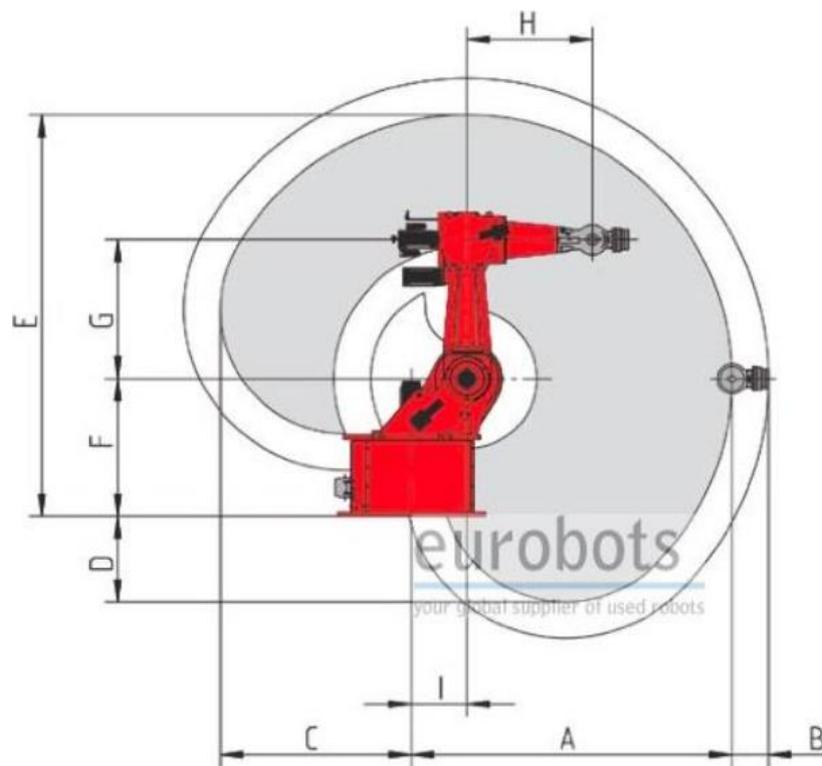
Fig. 11. La figura mostra a sinistra il robot, in cui ogni link assume una colorazione diversa. A destra è possibile osservare la catena cinematica del robot, ovvero la gerarchia che esiste fra i vari link. Ogni collegamento (freccia) permette un movimento relativo di tipo rotoidale.

Si osserva che ogni link ha uno specifico colore, in modo da poter riconoscere quale sarà la cinematica del robot. Il robot in questione ha 6 assi:

- Asse 1: questo asse è localizzato alla base del robot, gli permette di ruotare a destra e a sinistra. Questo movimento fa sì che l'area di lavoro del robot sia estesa sia alla porzione di volume davanti ad esso che a quella dietro.
- Asse 2: questo asse permette al braccio più basso (link giallo) di muoversi avanti e indietro.

- Asse 3: questo asse estende la raggiungibilità verticale del robot. Permette al braccio superiore (link fucsia) di avere un accesso migliore e in alcuni modelli molto articolati, permette al braccio di raggiungere l'oggetto da dietro.
- Asse 4: questo asse lavora in congiunzione con l'asse 5, partecipa al posizionamento dell'*end effector* e alla manipolazione dell'oggetto. Permette al braccio superiore (link fucsia) di ruotare facendo sì che l'oggetto manipolato cambi la sua orientazione.
- Asse 5: questo asse permette all'*end effector* di inclinarsi in alto e in basso, o a destra e a sinistra.
- Asse 6: questo asse permette il movimento torcente, sia per posizionare l'*end effector* sia per manipolare le parti. In genere permette una rotazione maggiore di 360 gradi sia in verso orario che antiorario.

3 COSTRUZIONE DI UNA STAZIONE



3 COSTRUZIONE DI UNA STAZIONE

Type / Tipo		RV4	RV6	RV6L
Modèle / Modello				
Charge maximale / Portata massima		4 kg	6 kg	6 kg
Charge additionnelle sur l'axe 3 / Portata addizionale su asse 3		6 kg	10 kg	10 kg
Vitesses / Velocità (°/s)				
	Axe / Asse 1	180	140	140
	Axe / Asse 2	180	140	140
	Axe / Asse 3	200	140	140
	Axe / Asse 4	350	270	270
	Axe / Asse 5	350	300	300
	Axe / Asse 6	550	500	500
Zone de travail / Area di lavoro				
	A (mm)	990	1435	1635
	B (mm)	90	90	90
	C (mm)	356	695	813
	D (mm)	-47	132	332
	E (mm)	1430	1870	2070
	F (mm)	620	715	715
	G (mm)	475	615	615
	H (mm)	335	540	740
	I (mm)	180	280	280
	K (mm)	1980	2870	3270
	L (°)	0	30	30
Courses / Raggio d'azione assi (°)				
	Axe / Asse 1	360	330	330
	Axe / Asse 2	145	165	155
	Axe / Asse 3	270	270	270
	Axe / Asse 4	420	420	420
	Axe / Asse 5	246	246	246
	Axe / Asse 6	720	720	720
Répetabilité / Precisione di ripetibilità (mm)		± 0,03	± 0,05	± 0,05
Puissance installée / Potenza allacciata (KVA)		2,4	2,4	3,3
Poids sans l'armoire électrique / Peso senza quadro elettrico (kg)		195	200	230
eurobots your global supplier of used robots				
Domaines d'applications / Settori applicativi				
Soudage à l'arc / Saldatura			•	•
Soudage par points / Puntatura				
Soudage, coupage, revêtement laser / Saldatura, taglio e riporto laser				
Coupage thermique / Taglio termico			•	•
Rivetage, assemblage / Rivettatura				
Automatisation fonderie sous pression / Automazione pressofusione		•	•	•
Automatisation fonderie coquille / Automazione fusione in conchiglia		•	•	•
Manutention, palettisation / Manipolazione, palletizzazione		•	•	•
Liaison inter-machines, chargement / Concatenamento, asservimento		•	•	•
Etanchéisation, revêtement, collage / Incollaggio, estrusione				•
Montage, assemblage / Montaggio, inserimenti		•	•	•
Automatisation injection plastique / Automazione stampaggio plastica		•	•	•

Fig. 14. La figura mostra la scheda tecnica del robot Reis RV40, evidenziata dal riquadro nero.

3 COSTRUZIONE DI UNA STAZIONE

Il software prevede due tipologie di approccio per muovere il robot e impartirgli dei compiti, uno di essi si basa sul concetto di cinematica diretta, e l'altro si basa sul concetto di cinematica inversa.

- **Cinematica diretta:** consiste nel determinare la posizione e l'orientamento dell'*end effector* del manipolatore, a partire dalle coordinate di ogni giunto. Per muovere il robot secondo tale approccio in Process Simulate è necessario selezionare il robot e poi dalla sezione "Robot" va selezionato il comando "Joint Jog". Si aprirà una finestra di dialogo con tanti *jog* quanti sono i gradi di libertà del robot (nel nostro caso 6). Muovendo a destra e a sinistra ogni singolo *jog* è possibile verificare in maniera diretta il movimento relativo.

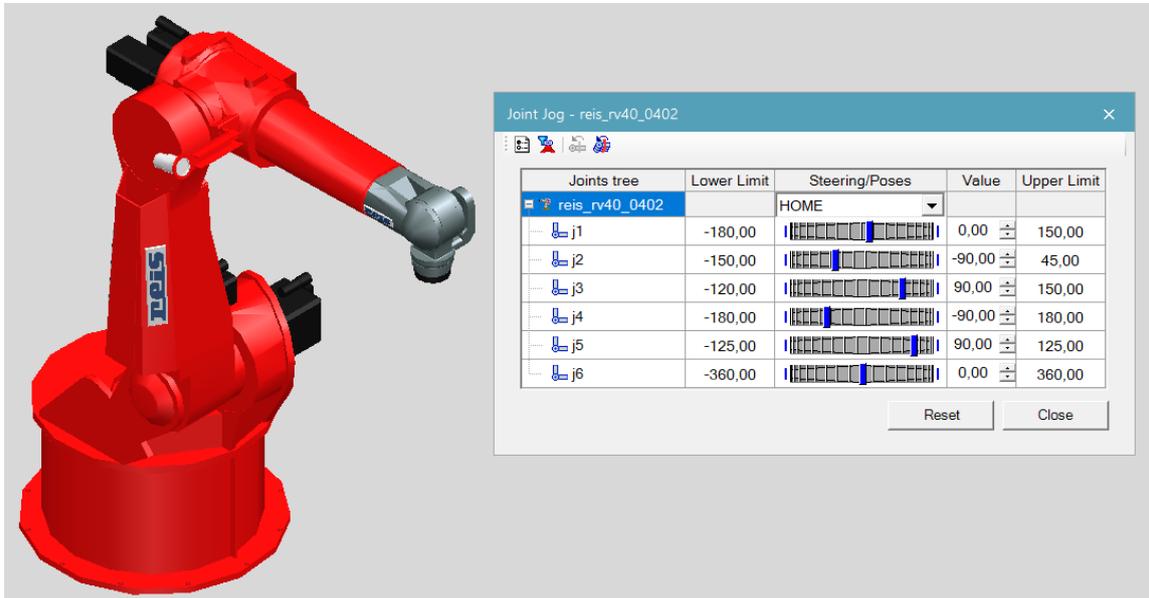


Fig. 15. La figura mostra la finestra di dialogo tramite la quale è possibile muovere il robot. Tale finestra di dialogo si aprirà ogni volta che verranno impartiti dei compiti al robot; l'approccio di cinematica diretta consiste nel muovere ogni singolo joint in modo che il robot assuma la configurazione voluta.

3 COSTRUZIONE DI UNA STAZIONE

- Cinematica inversa: consiste nel determinare le coordinate di giunto corrispondenti ad una data posizione e ad un dato orientamento dell'end effector del manipolatore. Per muovere il robot secondo tale approccio è necessario selezionare il robot, e selezionare il comando "Robot Jog" dalla sezione "Robot". Si aprirà una finestra di dialogo e un sistema di riferimento sul quale è possibile agire direttamente per muovere l'end effector del robot nello spazio.

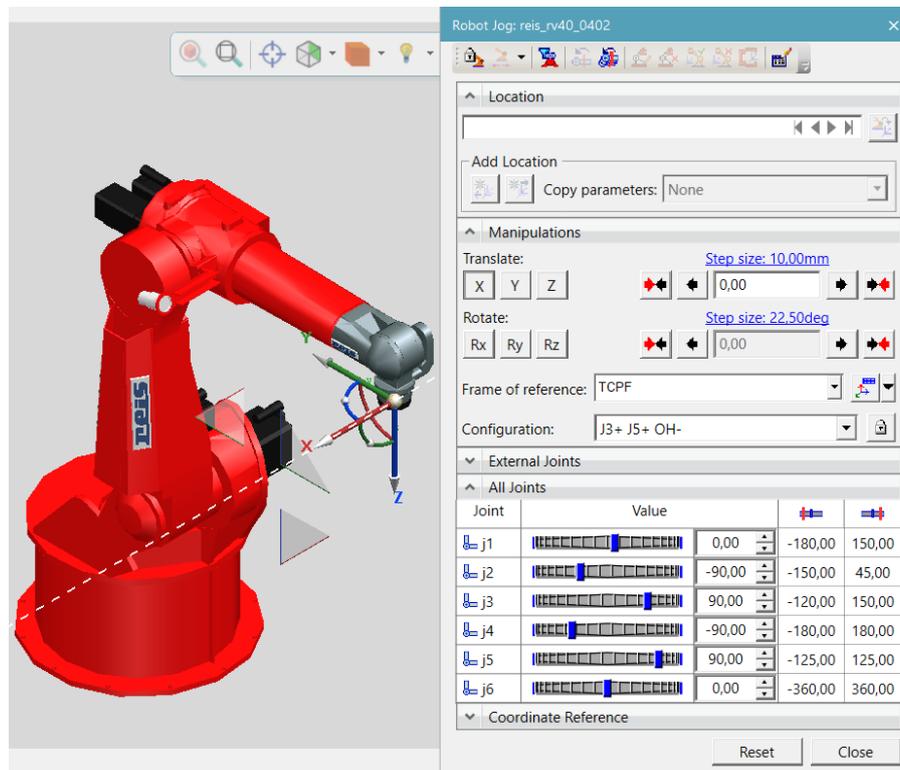


Fig. 16. La figura mostra la finestra di dialogo tramite la quale è possibile muovere il robot. L'approccio di cinematica inversa consiste nel muovere direttamente l'end effector trascinando una delle tre frecce per le traslazioni, e/o uno dei archi di circonferenza per le rotazioni. Una volta assunta la configurazione voluta è possibile notare che nella finestra di dialogo i singoli joint avranno assunto dei valori, che sono gli stessi che si sarebbero dovuti inserire per far assumere al robot la stessa configurazione utilizzando però l'approccio di cinematica diretta.

Dalla fig.14 è possibile osservare le specifiche tecniche del robot industriale reale, come i limiti fisici di tutti i suoi movimenti relativi, la portata massima, l'elenco delle applicazioni per le quali è adatto. Tutte queste specifiche sono riportate nella versione virtuale del robot all'interno del programma, e ciò consente all'ingegnere di poter realizzare una simulazione il più realistica possibile, permettendogli di rendersi conto dei limiti del robot e delle difficoltà che potrebbero essere riscontrate. Non solo, il robot in questione è stato preso dalle librerie fornite da Siemens, ma il software offre anche la possibilità di realizzare robot più o meno semplici *ex novo*, tramite una apposita sezione di *editing*, e fornirgli poi la cinematica con i relativi campi di variabilità dei *joint* ed eventuali dipendenze (è possibile che i *joint* non siano indipendenti gli uni con gli altri, bensì il movimento di un *joint* debba dipendere dal movimento di un altro *joint*. Ad esempio nel *box gripper* utilizzato, la cinematica di una delle due serie di dita deve essere l'esatto opposto della cinematica dell'altra serie di dita).

3.5 *Material Handling*

3.5.1 Cos'è un'operazione di *pick and place*?

Come già detto lo scopo di questa attività era quello di valutare il software relativamente al suo utilizzo nel campo della robotica, per questo motivo uno degli obiettivi era realizzare alcune applicazioni del robot. L'applicazione che si è scelta di analizzare è quella di *material handling*, nello specifico tali operazioni sono dette di "*pick and place*". Un'operazione di *pick and place* si compone delle azioni di prelievo da una posizione e deposito in un'altra. Automatizzare questo processo

consente di aumentare i tassi di produzione e non solo, rende gli operatori liberi di svolgere altre operazioni più complesse. Questo tipo di operazioni è utilizzato tipicamente per le fasi di assemblaggio, confezionamento, raccolta differenziata, ispezione.

I fattori che caratterizzano un'operazione di *pick and place* e il relativo robot utilizzato sono:

- Numero di assi: tale fattore caratterizza la mobilità del robot, la forma e le dimensioni dell'area di lavoro, la flessibilità. Process Simulate a tal proposito offre la possibilità di usufruire di robot virtuali che riproducono fedelmente la cinematica del robot reale, o creando robot ex novo.
- Raggiungibilità: rappresenta la distanza massima (orizzontale e verticale) entro la quale il robot può manipolare un certo oggetto. Al robot è richiesto di prelevare e posizionare parti con un alto livello di precisione, dunque è utile poter valutare la raggiungibilità del robot per un certo oggetto e valutare se essa sia adatta all'operazione in questione. Le massime distanze orizzontale e verticale sono rispettivamente la distanza dal centro della base del robot al punto più lontano dell' *end effector* orizzontalmente e la distanza dal punto più basso a quello più alto che il robot può raggiungere; per il robot utilizzato in questa esperienza tali valori sono visualizzabili graficamente in fig.12 e fig.13 e numericamente in fig.14. In seguito verranno approfondite le modalità con cui far fronte a questo aspetto all'interno del software.
- Ripetibilità: descrive l'abilità di un robot di prelevare e posizionare oggetti nelle stesse esatte posizioni per ogni ciclo che viene compiuto. Le attività ad

alta precisione richiedono robot con ottima ripetibilità e tolleranza quasi nulla.

- **Velocità:** è importante che il robot utilizzato per una certa operazione riesca ad eseguirla con la velocità richiesta. Il robot va scelto, tra le altre caratteristiche, anche in base alla sua massima velocità, perché essa è sinonimo di produttività ed efficienza; tale velocità deve essere in grado di far fronte ai picchi di domanda nel corso del tempo. In fig. 14 è indicata la velocità di ogni movimento relativo del robot in gradi al secondo. All'interno del software è possibile stabilire la durata di ogni operazione in modo tale da svolgere la simulazione con la velocità richiesta e fare le dovute considerazioni.
- **Carico utile:** è il massimo peso che il robot può trasferire da una posizione ad un'altra e include sia il peso dell'oggetto manipolato sia il peso dell'utensile installato sull'end effector. E' importante scegliere il robot anche in base al suo carico utile e al peso dell'oggetto più pesante che esso dovrà trattare. Process Simulate è in grado di segnalare all'utente quando il peso di un oggetto è fuori dalla portata del robot.

3.5.2 *End effector*

Prima di analizzare come assegnare operazioni ai robot, è importante approfondire l'approccio del robot all'oggetto da manipolare. In robotica si intende per *end effector* il dispositivo che, posto all'estremità di un braccio robotico, è concepito per manipolare oggetti, ovvero la parte che viene in contatto con l'oggetto o il pezzo che deve essere movimentato, controllato o lavorato. Un *end effector* è quindi la

parte del robot che interagisce con l'ambiente, con una struttura hardware e un software di controllo che dipendono dal compito che deve essere eseguito. E' importante sottolineare la suddivisione in due tipi: *gripper* (pinze, dispositivi di presa), per prendere e manipolare oggetti, e *tool*, per effettuare processi e lavorazioni su pezzi e oggetti. Per i gripper, in letteratura si trovano delle suddivisioni di dettaglio, per esempio basate sulle superfici che entrano in contatto con un oggetto, da cui *gripper unilateral*, se solo una entra in contatto, ed è il caso dei *gripper* a vuoto e dei *gripper* magnetici, oppure *bilateral gripper*, se le superfici che toccano il pezzo sono due o più. Un'altra suddivisione è basata sulle modalità con cui il contatto avviene, e come casi possibili si può avere: *impactive*, che prevede una presa vera e propria; *ingressive*, dove tramite strutture a pettine, aghi o pin si penetra direttamente la superficie di un materiale per sollevarlo e movimentarlo, per esempio nel caso di tessuti o materiali analoghi; *asrictive*, dove sono applicate forze di suzione tramite il vuoto (*vacuum gripper*), o anche magnetiche in caso di materiali ferrosi; *contigutive*, con forze di contatto diretto per adesione (*adhesive gripper*), tramite collanti, per esempio. Per quanto riguarda i *tool*, ovviamente dipende dal tipo di lavorazione da effettuarsi, come esempi si citano il taglio e la saldatura.

I *gripper* più diffusi sono quelli di presa, e le applicazioni più usuali in cui sono adottati vanno da assemblaggio, *machine loading/unloading*, *packaging*, pallettizzazione/depallettizzazione, a movimentazione parti. Considerando i modelli multi-finger, cioè le pinze a più dita, le tipologie più comuni sono quelle parallele e quelle centriche. Le pinze parallele prevedono due dita che si aprono e si chiudono lungo un singolo asse (ed è questo il caso della nostra stazione), mentre in quelle centriche vi sono tre dita che si aprono e si chiudono attorno a un punto centrale.

Ci sono alcuni parametri da valutare prima di scegliere l'attrezzatura più adeguata. Un primo parametro è il *payload*, da intendersi come il peso massimo che un *end effector* può movimentare, e che rappresenta un fattore limitante di un cella robotizzata: infatti, anche se il robot Reis RV40, come da sue specifiche, ha un payload 4 Kg mentre l'*end effector* che si sceglie ha solo 2 Kg, l'applicazione viene limitata a 2 kg. Altro parametro è la forza che, in quanto applicata direttamente dalle "dita" costituenti la pinza sull'oggetto, va calibrata a seconda del materiale; la soluzione ideale laddove si preveda la manipolazione di oggetti strutturalmente diversi è optare per dei gripper che prevedono una "grip force" aggiustabile caso per caso, e sul mercato sono disponibili gripper con molteplici livelli di setting. Per *gripper stroke* si intende invece l'apertura massima tra le dita della pinza, che limita la dimensione degli oggetti che possono essere afferrati e movimentati, e altro limite è quello del peso del gripper stesso: dato un robot con payload 4 Kg, se il *gripper* pesa 0,8 Kg l'applicazione può gestire ovviamente solo parti o pezzi fino a 3,2 Kg. Il *gripper* utilizzato nella costruzione della nostra stazione è quello di fig.17.

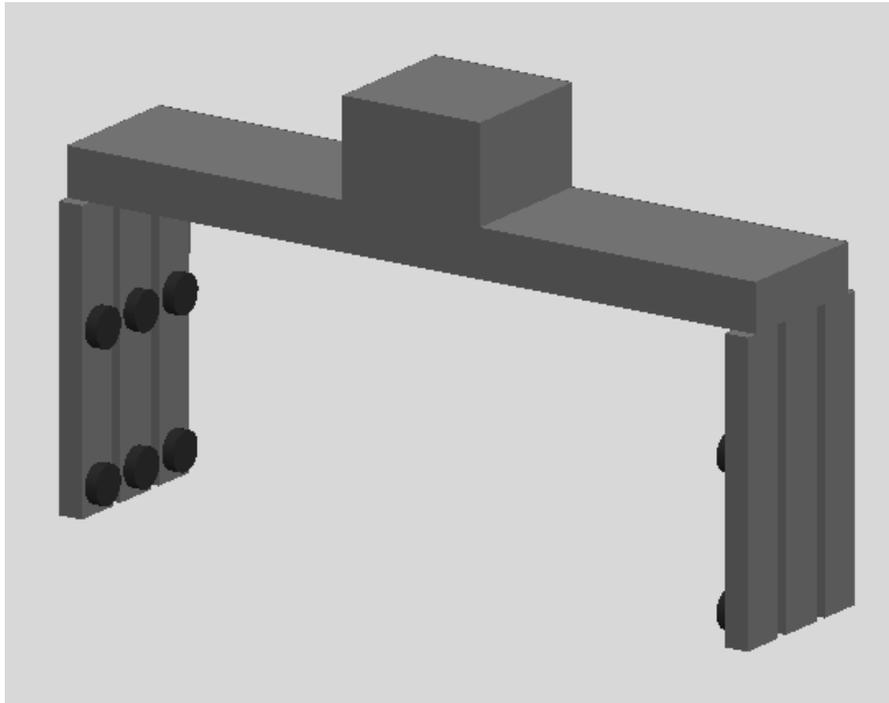


Fig. 17. Raffigurazione del gripper utilizzato. Il gripper è stato preso dalle librerie di Siemens Learning Advantage.

All'interno del software selezionando il gripper, dalla sezione *modeling*, selezionando prima "Set Modeling Scope" e poi "Kinematics Editor" si aprirà la finestra di dialogo mostrata in fig.18, dove è possibile osservare la cinematica dell'utensile. La sua cinematica è relativamente semplice: consiste in tre *links*, la base e due serie di dita. Le due serie sono dotate di un movimento di traslazione lungo lo stesso asse, e questi due *joint* non sono indipendenti, bensì la velocità di uno corrisponde alla velocità dell'altro moltiplicata per $k=(-1)$.

3 COSTRUZIONE DI UNA STAZIONE

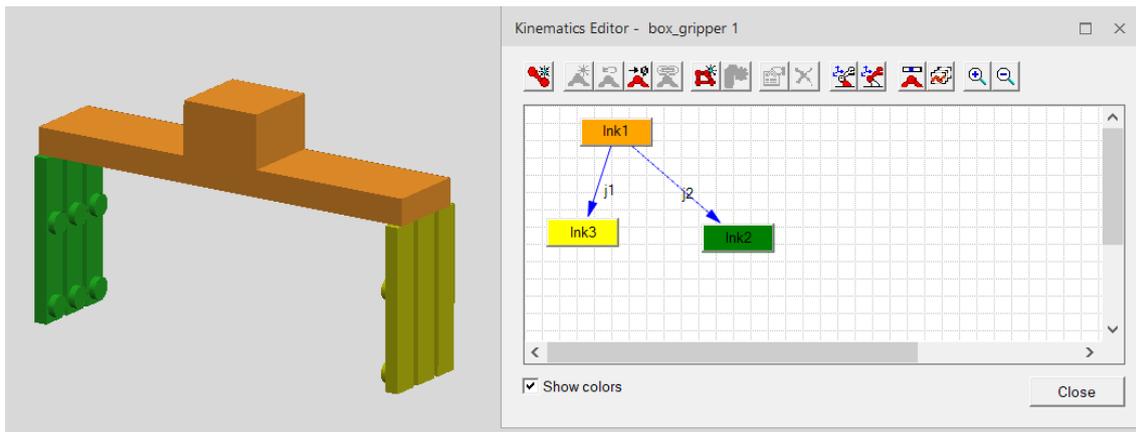


Fig. 18. La figura mostra a sinistra il gripper i cui link sono colorati diversamente; a destra la finestra di dialogo in cui è possibile osservare la catena cinematica. Entrambe le dita sono collegate solamente alla base e il movimento relativo è di tipo traslazionale. La cinematica di una delle due serie di dita è proporzionale alla cinematica dell'altra serie di dita con costante di proporzionalità $k=-1$.

Il software permette di assegnare all'utensile delle configurazioni standard, come quella "OPEN" e le varie configurazioni "CLOSE" (una per ogni specifico oggetto che la pinza dovrà afferrare), in modo da poterle poi selezionare nella fase di creazione delle operazioni di *pick and place*. Nella nostra stazione la pinza è dotata di tre configurazioni, una di riposo (*open*) e due di afferraggio (*close*), di cui una relativa al blocco forato e l'altra relativa al perno.

3 COSTRUZIONE DI UNA STAZIONE

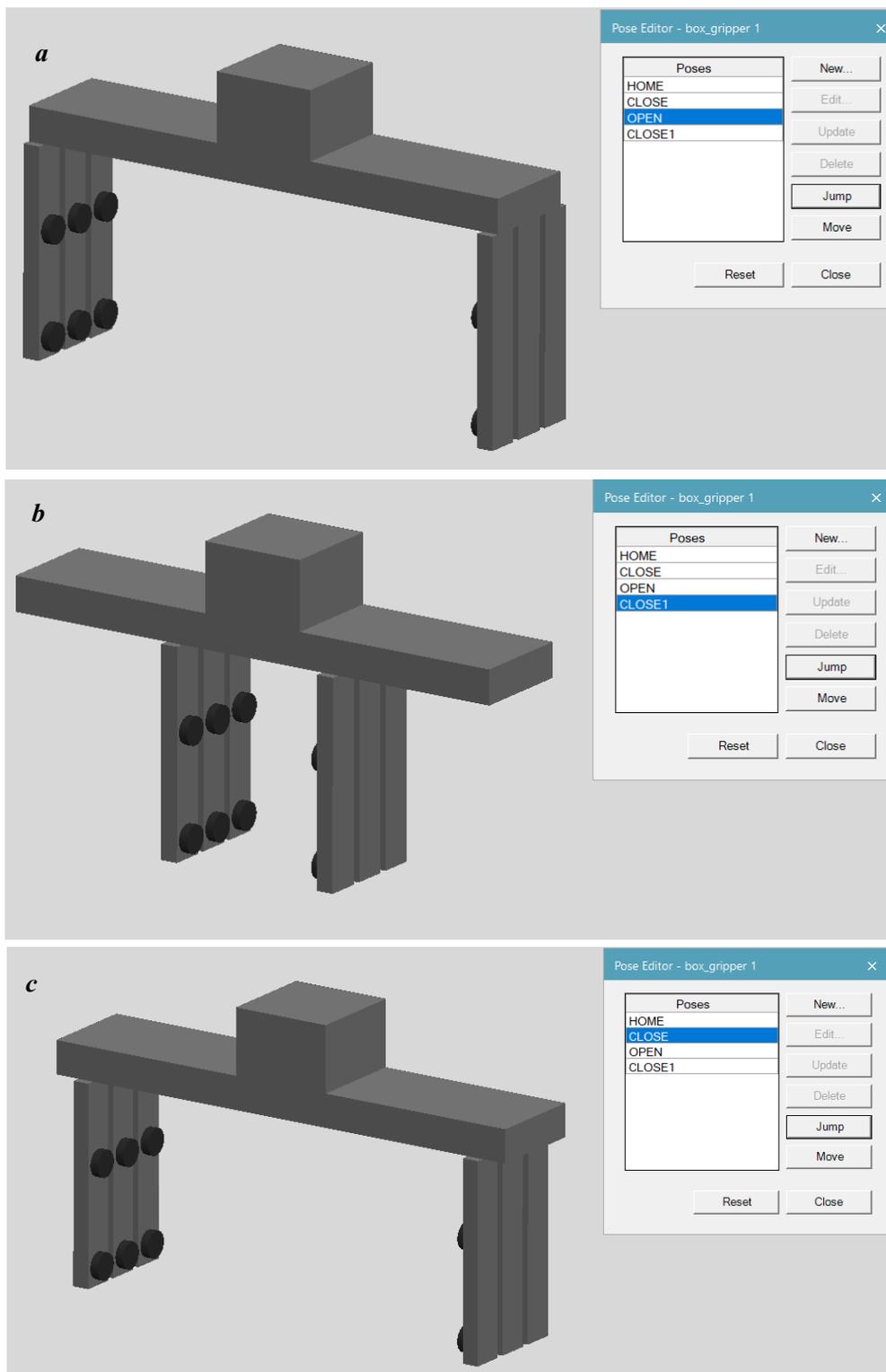


Fig. 19. La figura mostra il gripper utilizzato nella nostra stazione nelle varie configurazioni adottate: **a)** OPEN; **b)** CLOSE1: configurata su misura per il perno flangiato; **c)** CLOSE: configurata per il blocco forato.

3.5.3 Concetti principali sulle operazioni di *pick and place* in Process Simulate

La prima cosa da fare per realizzare delle operazioni di *pick and place* all'interno del software è montare il *gripper* scelto sul robot che effettuerà le operazioni; si tratta di scegliere due sistemi di riferimento, uno sul *gripper* e uno sul robot, e tramite il comando "Mount Tool" il programma farà sì che questi due sistemi di riferimento vadano a coincidere. Da questo momento in poi il robot e il *gripper* si comporteranno come due corpi connessi da un giunto che permette rotazioni relative attorno a uno stesso asse.

Ora è possibile creare l'operazione dalla sezione "Operation" selezionando "New Operation" e poi "New Pick And Place Operation"; si aprirà una finestra di dialogo in cui è necessario indicare il robot, il *gripper*, e le posizioni di *pick* e di *place*. E' importante inserire anche delle posizioni di approccio e ritiro sia per l'operazione di *pick* sia per l'operazione di *place*; queste posizioni possono essere inserite secondo l'approccio di cinematica diretta o inversa. E' bene sceglierle con cura in modo da evitare collisioni, da rendere l'operazione fluente, e da rispettare le misure di sicurezza previste. Ad ogni modo il software permette di regolare la posizione e l'orientamento del *gripper* quando è in presa sull'oggetto da manipolare, selezionando l'operazione da manipolare dall'*operation tree* e poi selezionando il comando "Manipulate Location" dalla sezione "Operation". Si aprirà una finestra di dialogo come quella mostrata in fig.20 e un sistema di riferimento; non solo, per facilitare la modifica il *gripper* verrà visualizzato in presa sull'oggetto per valutare direttamente le modifiche applicate. E' ora possibile manipolare la posizione del

3 COSTRUZIONE DI UNA STAZIONE

gripper agendo direttamente sulla terna di assi di riferimento (cinematica inversa) o agendo sui singoli *joint* (cinematica diretta).

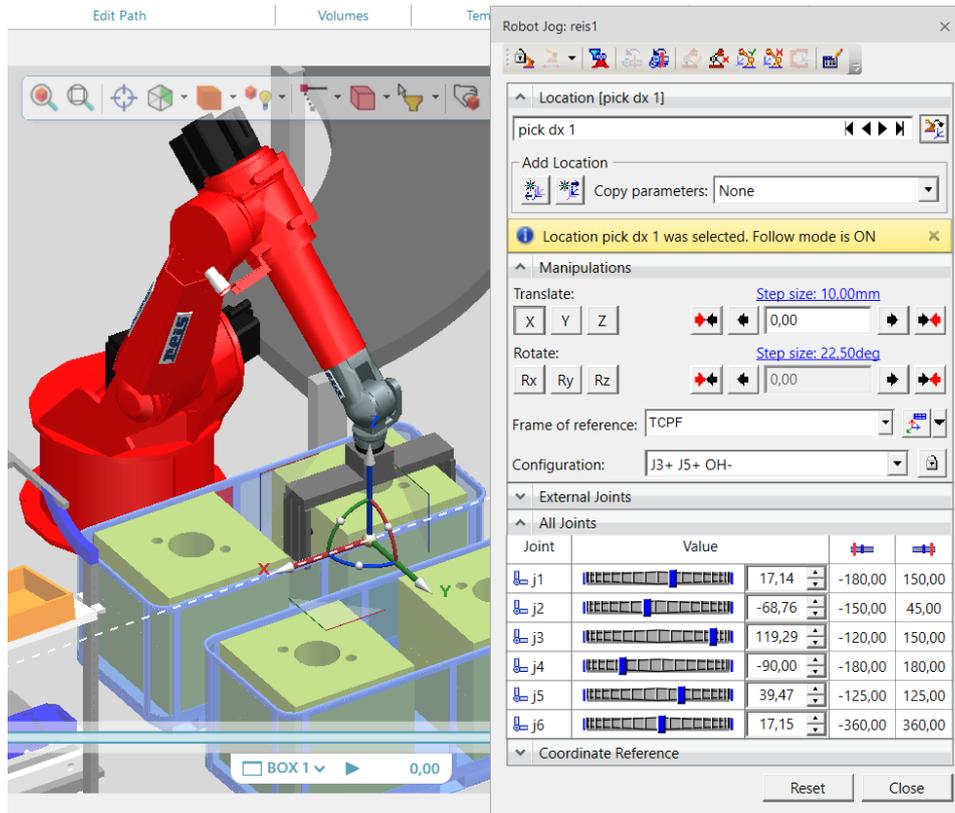


Fig. 20. La figura mostra la fase di modifica/aggiustamento della configurazione di presa del robot.

Nel paragrafo 3.5.1 si è detto che tra le caratteristiche di un'operazione di *pick and place* c'è la raggiungibilità. In generale per ogni operazione assegnata ad ogni robot è necessario assicurarsi che il robot nella posizione in cui si trova riesca a raggiungere correttamente l'oggetto o la parte sulla quale deve lavorare. In Process Simulate, una volta creata una serie di operazioni per un robot, esiste un comando che permette di valutare se il robot è in grado o meno di effettuarle tutte, con

3 COSTRUZIONE DI UNA STAZIONE

riferimento alla raggiungibilità. Selezionando il robot e selezionando il comando “Reach Test” dalla sezione “Robot” si aprirà una finestra di dialogo in cui inserendo tutte le operazioni per le quali si vuole valutare la raggiungibilità, per ogni operazione assegnata il software fornisce una spunta blu in caso di risposta positiva, o una croce rossa in caso di risposta negativa, e in tal caso è necessario intervenire perché in quelle condizioni il robot non riesce a raggiungere l’oggetto.

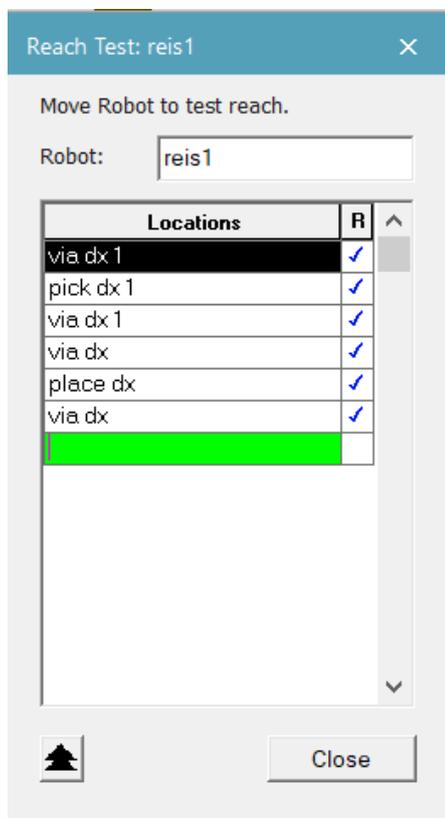


Fig. 21. La figura mostra la finestra di dialogo relativa al comando Reach Test. Come si può osservare in questo caso tutte le posizioni testate possono essere correttamente raggiunte dal robot.

A titolo di esempio in seguito verranno mostrate delle immagini che riproducono la sequenza dei movimenti del robot per ogni operazione di pick and place della nostra stazione. Si ricorda che per ogni oggetto in lavorazione le operazioni di pick and

place sono tre; nell'ordine in cui sono eseguite: posizionamento del blocco forato sul nastro trasportatore, inserimento del perno flangiato nel foro del blocco, presa del pezzo assemblato e posizionamento su un banco di lavoro.

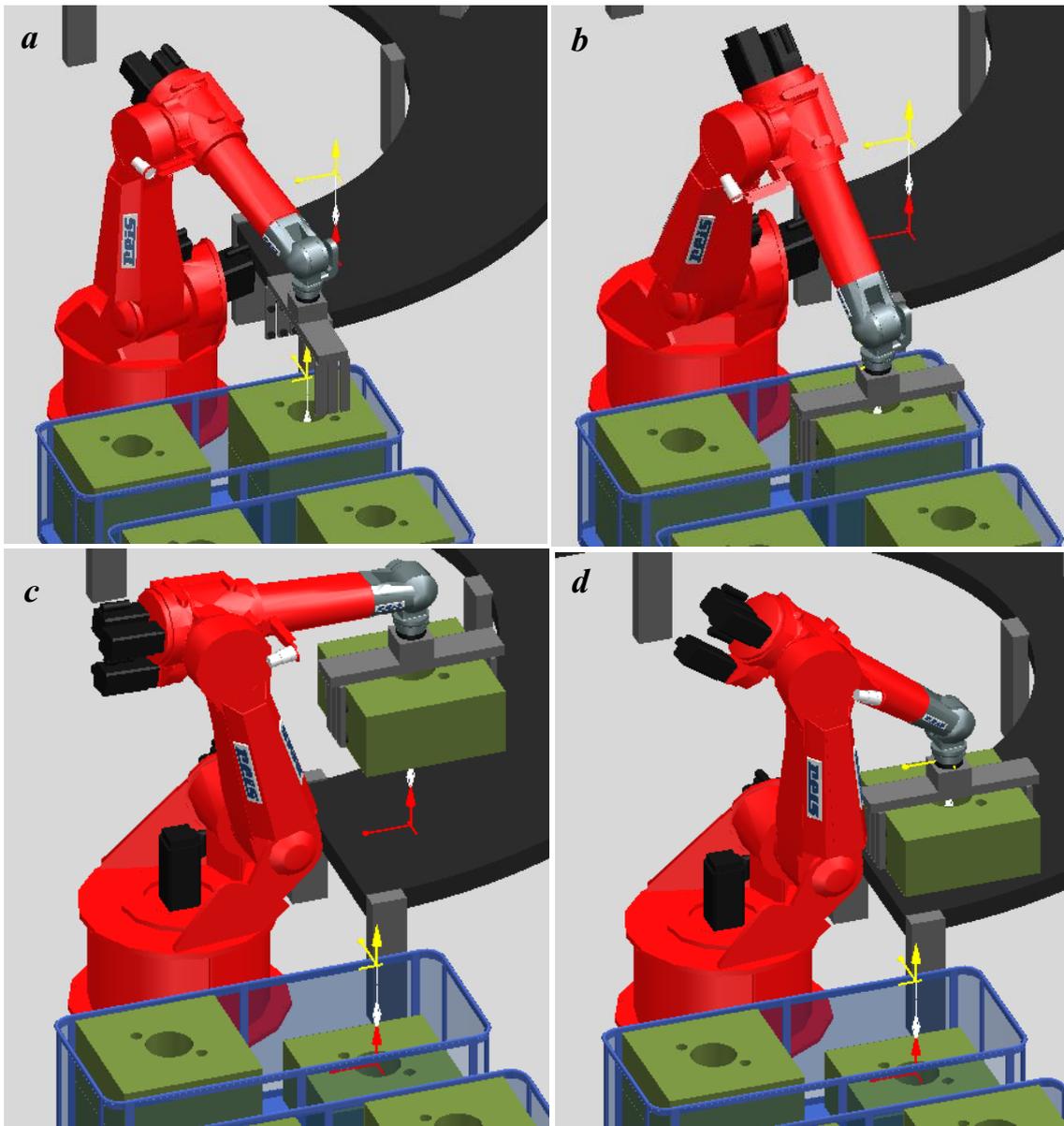


Fig. 22. La figura mostra l'operazione di pick and place relativa alla presa del blocco dal contenitore e al posizionamento sul nastro trasportatore. Vengono mostrate: a) la posizione di approccio all'operazione di pick; b) l'operazione di pick; c) la posizione di approccio all'operazione di place; d) l'operazione di place. Le posizioni di ritiro sono identiche a quelle di approccio, per cui non sono mostrate.

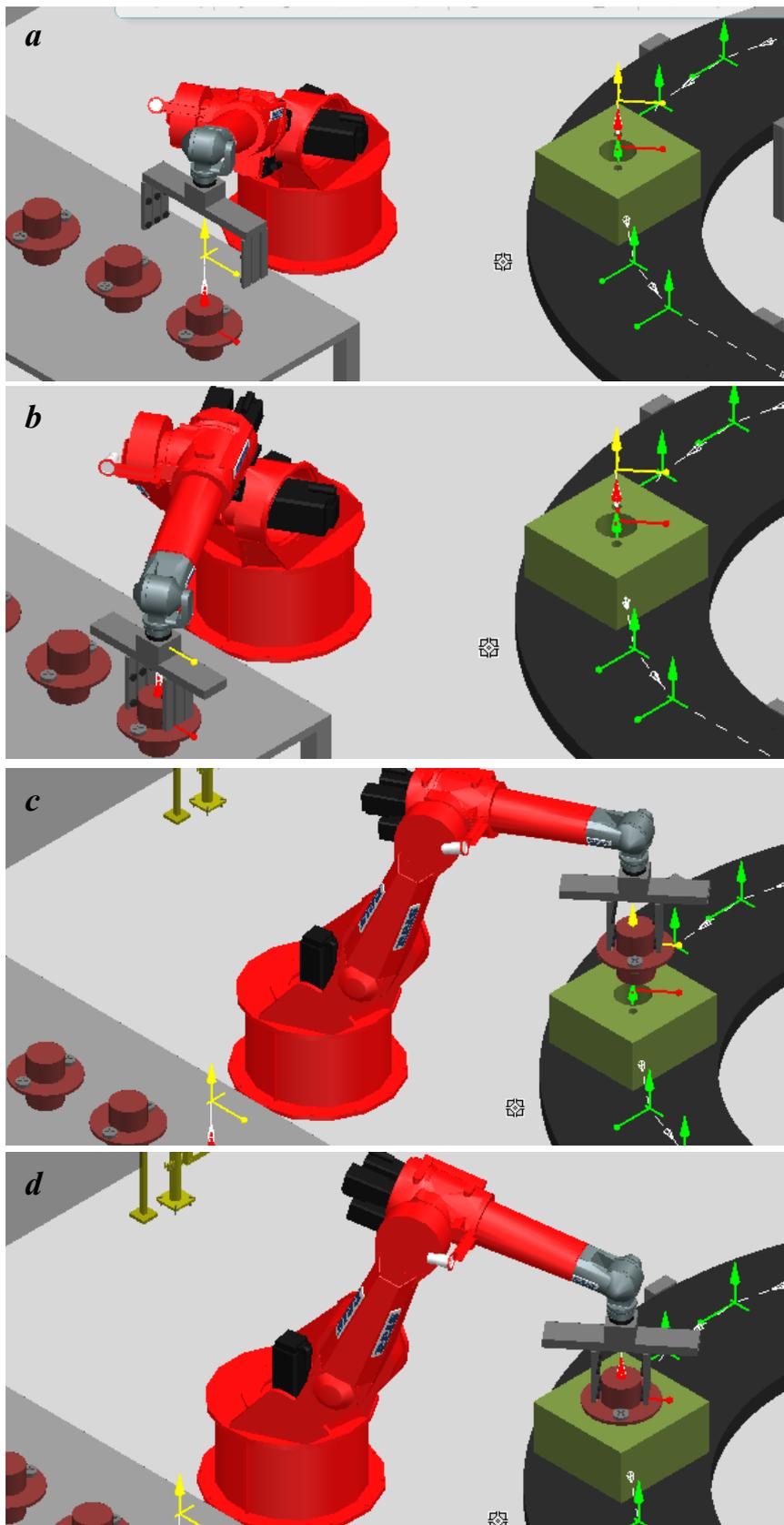
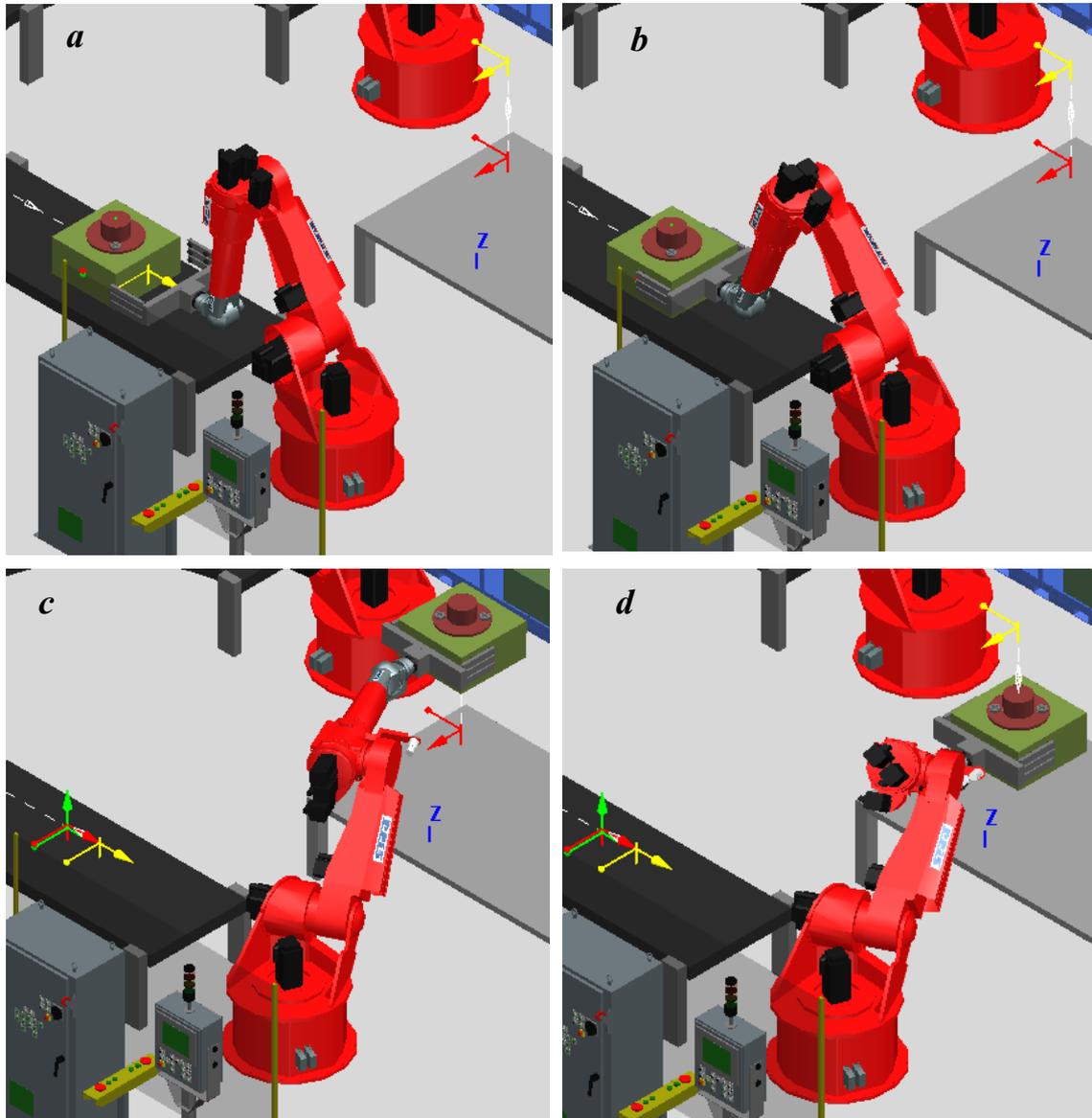


Fig. 23. La figura mostra l'operazione di pick and place relativa alla presa del perno flangiato e all'inserimento all'interno del foro del blocco. Vengono mostrate: a) la posizione di approccio all'operazione di pick; b) l'operazione di pick; c) la posizione di approccio all'operazione di place; d) l'operazione di place. Le posizioni di ritiro sono identiche a quelle di approccio, per cui non sono mostrate.



*Fig. 24. La figura mostra l'operazione di pick and place relativa alla presa del prodotto assemblato dal nastro trasportatore e al posizionamento su un banco di lavoro per le successive operazioni dell'operatore. Vengono mostrate: **a**) la posizione di approccio all'operazione di pick; **b**) l'operazione di pick; **c**) la posizione di approccio all'operazione di place; **d**) l'operazione di place. Le posizioni di ritiro sono identiche a quelle di approccio, per cui non sono mostrate.*

3.6 Sequence Editor

Uno strumento molto importante in Process Simulate è il Sequence Editor, uno dei *viewer* presenti nell'ambiente di simulazione, è utilizzato per visualizzare ed editare la struttura del processo, fornisce una visione generale di tutta la sequenza di operazioni. La sua importanza risiede nel fatto che esso fornisce il diagramma di Gantt della sequenza di operazioni della simulazione. In seguito vedremo cos'è un diagramma di Gantt e verrà analizzato come esempio quello della stazione creata in fase di tirocinio.

Il diagramma di Gantt viene usato principalmente nelle attività di *project management*, è costruito partendo da un asse orizzontale, che rappresenta l'arco temporale totale del progetto, e da un asse verticale, che rappresenta le mansioni o attività che costituiscono il progetto. Delle barre orizzontali di lunghezza variabile rappresentano le sequenze, la durata e l'arco temporale di ogni singola attività del progetto. Queste barre possono sovrapporsi durante il medesimo arco temporale ad indicare la possibilità dello svolgimento in parallelo di alcune delle attività.

Un diagramma di Gantt permette dunque la rappresentazione grafica di un calendario di attività, utile al fine di pianificare, coordinare e tracciare specifiche attività in un progetto dando una chiara illustrazione dello stato d'avanzamento del progetto rappresentato. Nell'ambito di una simulazione di un processo di fabbrica ha lo scopo di schematizzare le fasi che compongono il processo, e permettere di fare alcune considerazioni, come la valutazione del tempo ciclo di un robot, al fine di dimensionare le celle di produzione.

3 COSTRUZIONE DI UNA STAZIONE

In fig.25 è riportato il diagramma di Gantt della stazione creata in fase di tirocinio, in cui sono state esplose solo le attività relative a un singolo assemblato (le altre sono identiche). Come si può osservare le attività che compongono il processo relativo a ogni assemblato si compongono delle seguenti fasi:

- presa del blocco dal contenitore (pick dx box 1);
- posizionamento del blocco sul nastro trasportatore (place dx box 1);
- trasporto del blocco lungo il nastro fino al robot centrale (box 1 run (1) e (2));
- presa del perno flangiato (pick perno 1);
- inserimento del perno flangiato nel foro del blocco (place perno 1);
- trasporto dell'assemblato fino al robot che si trova al termine del nastro trasportatore (box 1 run (3));
- presa dell'assemblato (pick 1 fine);
- posizionamento dell'assemblato sul banco di lavoro (place 1 fine).

Questo strumento permette all'ingegnere di poter agire sulla sequenza delle operazioni, modificare le tempistiche, inserire degli offset fra due operazioni consecutive, inserire delle pause, modificare la velocità con cui verrà effettuata tutta la simulazione, etc...

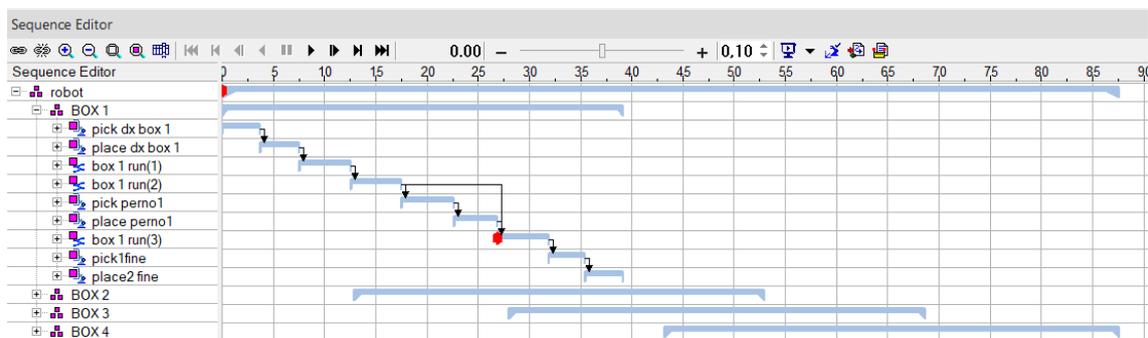


Fig. 25. La figura mostra il Sequence Editor relativo alla nostra stazione.

3.7 Collisioni

Un concetto molto importante nell'ambito delle simulazioni di stazioni robotizzate è il rilevamento delle collisioni. Quando si progetta una stazione robotica e si genera una sequenza di operazioni da svolgere è possibile che il layout e i movimenti stessi diano luogo a delle collisioni, ovvero a urti, contatti o penetrazioni di due o più elementi tra loro. Tutto ciò è ovviamente da evitare, ma non sempre in ambiente di simulazione è così semplice riuscire a identificare quando, in che punto, e tra quali elementi avviene la collisione.

Process Simulate dispone di uno strumento dedicato alle collisioni fra gli oggetti. Le collisioni vengono classificate in tre tipologie:

- vicinanza: gli oggetti in questione si colorano di giallo quando la distanza fra loro è più piccola di un certo valore prestabilito. Questa modalità viene utilizzata quando è molto importante che la collisione venga evitata, dunque si tiene conto di un margine di sicurezza;
- contatto: gli oggetti in questione si colorano di rosso, o di arancione nel caso in cui il rivelatore di vicinanza è attivato, quando entrano in contatto fra loro;
- penetrazione: gli oggetti sono colorati in rosso se superano una soglia di penetrazione prestabilita, che di norma va da 0 mm a 5 mm.

3 COSTRUZIONE DI UNA STAZIONE

Un'altra classificazione delle collisioni consiste nel distinguerle in:

- Collisioni dinamiche: vengono rilevate durante una simulazione o quando gli oggetti vengono spostati. Il software offre la possibilità di fermare la simulazione ed emettere un suono quando viene rilevata una collisione.
- Collisioni statiche: vengono rilevate quando gli oggetti non si muovono.

Nel software tramite il *Collision Viewer* è possibile creare delle famiglie di oggetti per le quali si vogliono valutare eventuali collisioni; se un oggetto di una famiglia collide con un oggetto di un'altra famiglia allora la simulazione si ferma e gli oggetti in questione si colorano di rosso.

A titolo di esempio nella stazione creata in fase di tirocinio, si vogliono valutare le eventuali collisioni fra le seguenti due famiglie:

- Il primo robot che posiziona i blocchi sul nastro e il relativo gripper;
- Il contenitore dove sono presenti i blocchi da assemblare.

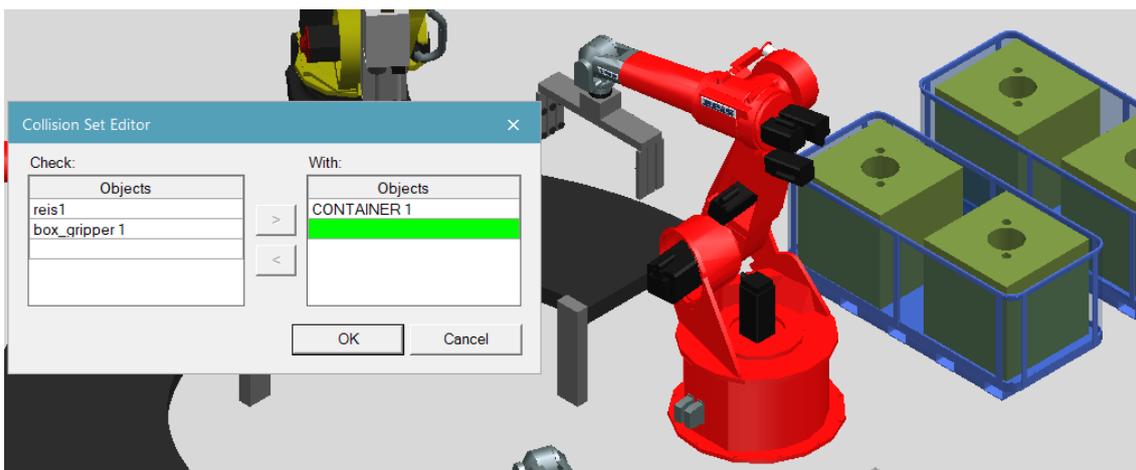


Fig. 26. La figura mostra la finestra di dialogo relativa alla creazione delle due famiglie dell'esempio in questione.

In sostanza si vuole valutare se, nel prelevare i blocchi dal contenitore, il *gripper* del robot collida o meno con il contenitore stesso. A scopo illustrativo si è modificata l'operazione in modo che il *gripper* collida con il contenitore, infatti come si può osservare in fig.27, quando avviene l'urto durante la simulazione, gli oggetti coinvolti si colorano di rosso, viene emesso un suono e la simulazione viene fermata: sono necessarie misure correttive.

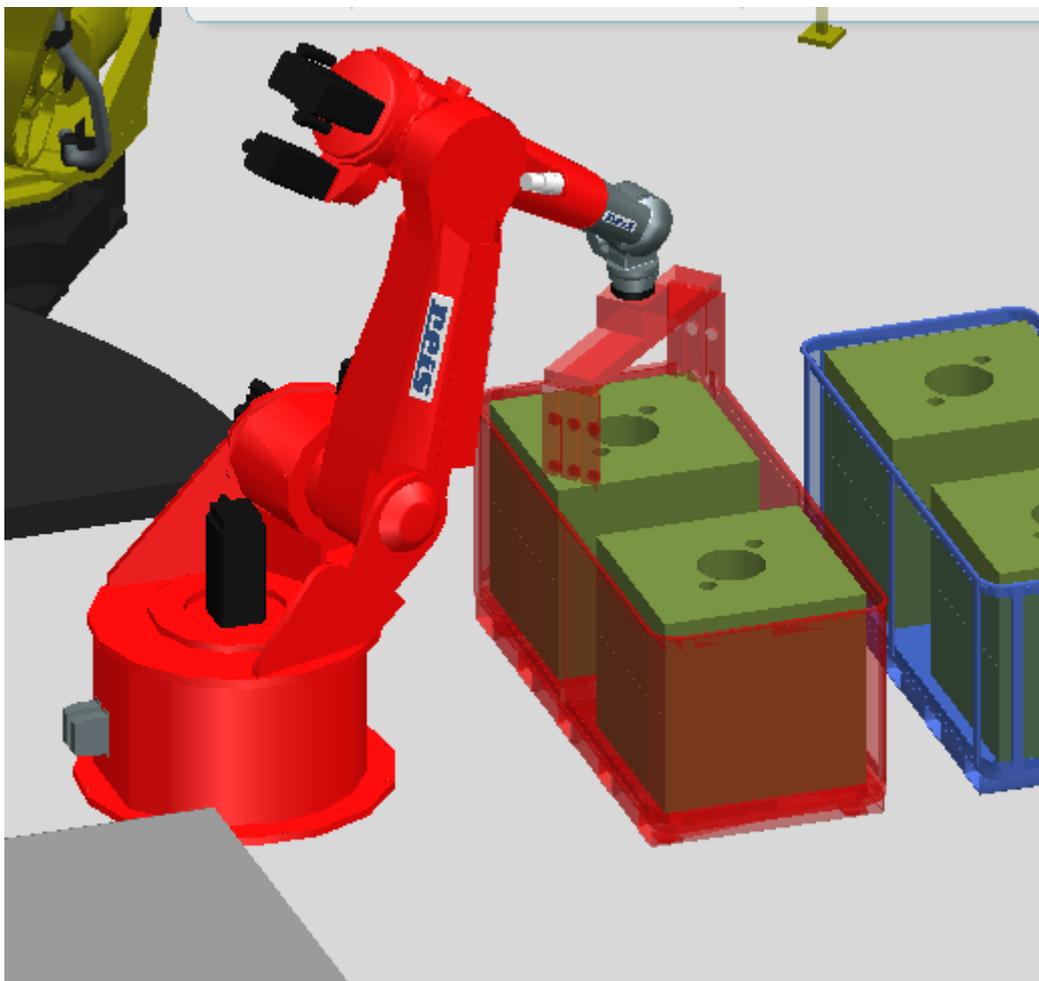


Fig. 27. La figura mostra l'istante in cui, durante la simulazione, avviene la collisione: la simulazione viene stoppata, gli oggetti coinvolti si colorano di rosso e viene emesso un suono.

4 *Human Simulation*

4.1 Introduzione

Nella stazione creata in fase di tirocinio si è voluto approfondire anche una piccola simulazione umana, questo per rendere l'analisi del software il più completa possibile e per rendersi conto di come il software permette di fare valutazioni sulla sicurezza e l'ergonomia degli operatori nelle celle di produzione.

Una piccola premessa va fatta su quello che riguarda la sicurezza nelle celle di produzione. Il grosso problema posto dall'interazione uomo/robot è come garantire la sicurezza di questa interazione per noi esseri umani. In che modo è possibile prevenire le collisioni o gli incidenti, pur lavorando fianco a fianco? Un robot industriale² è progettato per eseguire attività rapidamente e con precisione. I motori all'interno del braccio di un robot ricevono un segnale ed eseguono il relativo comando. Tipicamente, il braccio del robot non è dotato di caratteristiche che gli permettono di rilevare l'ambiente in cui si trova, ma si limita ad eseguire i comandi e a portarsi nelle posizioni programmate, a prescindere che vi sia o meno un oggetto sul suo percorso. Pertanto, per prevenire gli incidenti, i robot industriali lavorano normalmente all'interno di un ambiente protetto. Una configurazione comune consiste nel posizionare delle barriere fotoelettriche intorno al braccio del robot. Le uscite delle barriere fotoelettriche si collegano all'armadio di comando, il quale

2. Robot industriali: gestiscono attività come saldatura, pallettizzazione e sollevamento. Un esempio di interazione tra un robot industriale e un essere umano è costituito dalla fase di scarico della macchina, in cui l'operatore per prelevare il pezzo lavorato dal robot entra nella sua area di lavoro.

rileva se la barriera fotoelettrica è stata attraversata e spegne quindi il braccio del robot. Un'altra configurazione consiste nel posizionare un riparo intorno al braccio del robot e monitorare la chiusura della porta. I robot logistici³ lavorano spesso in ambienti nei quali potrebbero essere presenti degli esseri umani. Pertanto, il robot non necessita soltanto di sensori per la localizzazione e la mappatura, ma anche di sensori per il rilevamento delle persone. Per queste tecnologie di rilevamento è possibile utilizzare sistemi a ultrasuoni o a infrarossi.

4.2 *Human Simulation in Process Simulate*

Process Simulate permette di popolare l'ambiente virtuale con umani dotati di caratteristiche biomediche, antropometriche ed ergonomiche reali. Gli umani virtuali sono dotati di forza, e nel caso in cui un'azione è fuori dalla loro portata, il software è in grado di calcolare un'azione alternativa. E' possibile modellare umani di entrambi i sessi, di qualsiasi statura, basati su database reali. Gli umani proposti dal software dispongono di giunti con limiti di variabilità reali. Le caratteristiche e le funzioni principali di *Human Simulation* possono essere riassunte come nel seguito:

- figure umane accurate, basate su database realistici;
- realizzazione di studi di raggiungibilità, ergonomia, simulazione di una sequenza di operazioni svolte dall'umano o dalla singola mano;

3. Robot logistici: sono utilizzati ad esempio in magazzini nei quali un robot raccoglie le merci e le porta a una stazione di confezionamento. Questi robot sono dotati di numerosi sensori per permettere la mappatura e il rilevamento degli oggetti da manipolare.

- analisi dei movimenti di mano e corpo;
- valutazioni sulla postura di corpo e mani nel posizionamento, raggiungimento e impugnatura di oggetti;
- estrapolazione di rapporti di ergonomia basati su degli standard reali;
- modificazione di dettagli dell'umano come il vestiario.

In Process Simulate è possibile assegnare delle operazioni all'umano tramite tre strumenti:

- *Basic human tools*: basato sulla movimentazione manuale dei singoli *joint* dell'umano. Questo strumento è principalmente utilizzato per impostare una postura prima che l'umano compia delle operazioni già assegnate, o per modificare la postura dell'umano durante delle specifiche operazioni. E' abbastanza complicato creare intere sequenze di operazioni esclusivamente tramite questo strumento.
- *Operation creation tools*: questo strumento permette di creare sequenze di operazioni, ad esempio raggiungere, afferrare e posizionare un oggetto. Questo strumento è dotato di una sorta di calcolatore in grado di fornire abbastanza velocemente delle posture per le azioni programmate, le quali possono essere poi sostituite con delle posture predefinite, o modificate tramite lo strumento precedente.
- *High level tasks simulation creation tools (o task simulation builder)*: tale strumento è molto comodo per creare intere simulazioni umane. Le posture sono generate automaticamente e possono essere aggiustate sempre all'interno di questo strumento.

4 HUMAN SIMULATION

Per realizzare le operazioni dell'operatore nella stazione creata in fase di tirocinio è stato utilizzato il comando *TSB* (*task simulation builder*) dalla sezione "Human". Questo strumento utilizza un approccio di cinematica inversa.

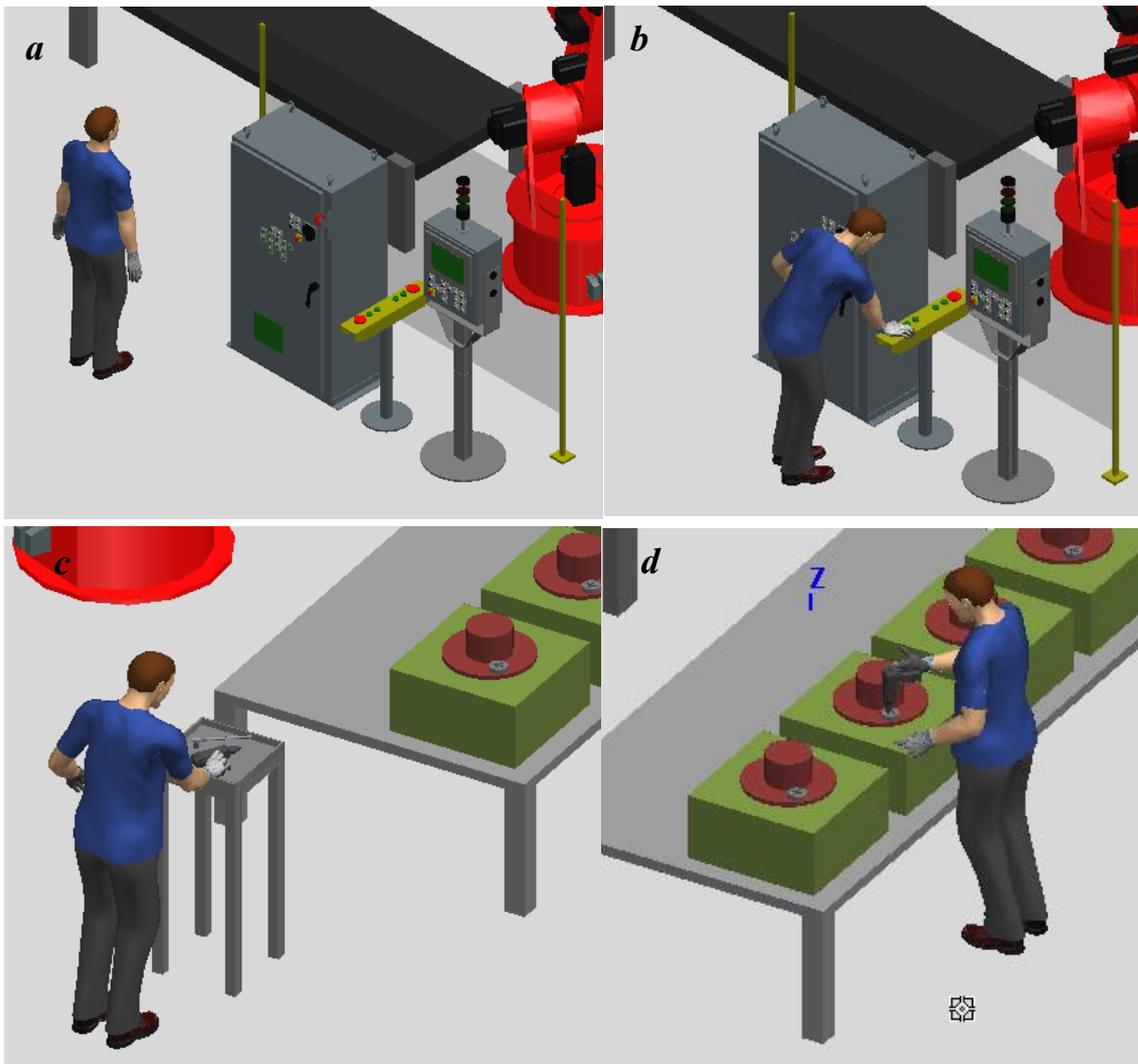


Fig. 28: La figura mostra le operazioni svolte dall'umano nella nostra stazione: a) camminare verso la pulsantiera; b) premere il pulsante; c) afferrare l'avvitatore; d) avvitare le viti degli assemblati.

4.3 Cos'è l'ergonomia?

L'ergonomia è la scienza che studia le abilità umane, le sue limitazioni e le sue caratteristiche al fine di definire il design degli ambienti in cui opera. L'applicazione dell'ergonomia al design consiste dunque nel progettare attrezzi, macchine, sistemi, operazioni e ambienti di lavoro in modo che essi siano sicuri, confortevoli e adatti all'uso umano.

Gli obiettivi che l'ergonomia si propone di raggiungere sono i seguenti:

- ridurre gli infortuni sul lavoro;
- migliorare la produttività;
- migliorare la qualità del lavoro;
- conformare le aziende ai regolamenti vigenti.

I metodi utilizzati dall'ergonomia per raggiungere i suoi obiettivi consistono nell'identificazione e quantificazione dei rischi presenti negli ambienti di lavoro, e nell'incentivare l'ingegneria a ridurre tali rischi.

Nel tempo sono stati valutati alcuni aspetti direttamente collegabili agli infortuni sul lavoro, ovvero:

- postura;
- carico;
- frequenza, ripetizioni;
- vibrazioni;
- durata;
- tempo di recupero.

4.4 Cenni sull'ergonomia in Process Simulate

Il campo dell'ergonomia ha sviluppato diversi standard di valutazione:

- OWAS;
- NIOSH;
- 3D SSPP;
- DMH;
- RULA.

Process Simulate consente di realizzare dei report riguardanti una certa simulazione umana per ogni standard precedentemente elencato. Per non appesantire la trattazione, e dato che non è scopo di questa relazione analizzare nel dettaglio l'ergonomia degli ambienti di lavoro, verrà trattato a titolo di esempio solamente lo standard OWAS e si rimanda a testi specifici e a corsi di apprendimento del software l'approfondimento degli altri standard.

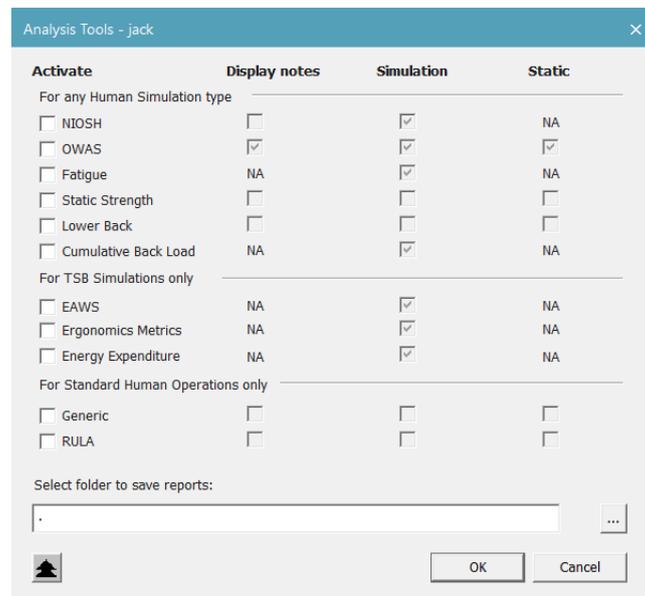


Fig. 29. La figura mostra la lista degli standard ergonomici presenti in Process Simulate.

Lo standard OWAS è utilizzato per classificare la postura di schiena, braccia, gambe e testa, e il peso del carico. Il codice è composto nell'ordine:

BACK ARMS LEGS LOAD – HEAD

Il codice OWAS consiste in una sequenza di numeri. Da sinistra verso destra:

- Schiena:
 1. Dritta.
 2. Protesa.
 3. Contorta o piegata lateralmente.
 4. Piegata e contorta o piegata in avanti e lateralmente.
- Braccia:
 1. Entrambe le braccia sotto il livello delle spalle.
 2. Un braccio sopra il livello delle spalle o allo stesso livello.
 3. Entrambe le braccia sopra il livello delle spalle o allo stesso livello.
- Gambe:
 1. Seduto con entrambe le gambe sotto le natiche.
 2. In piedi, con entrambe le gambe dritte.
 3. In piedi, con una gamba dritta.

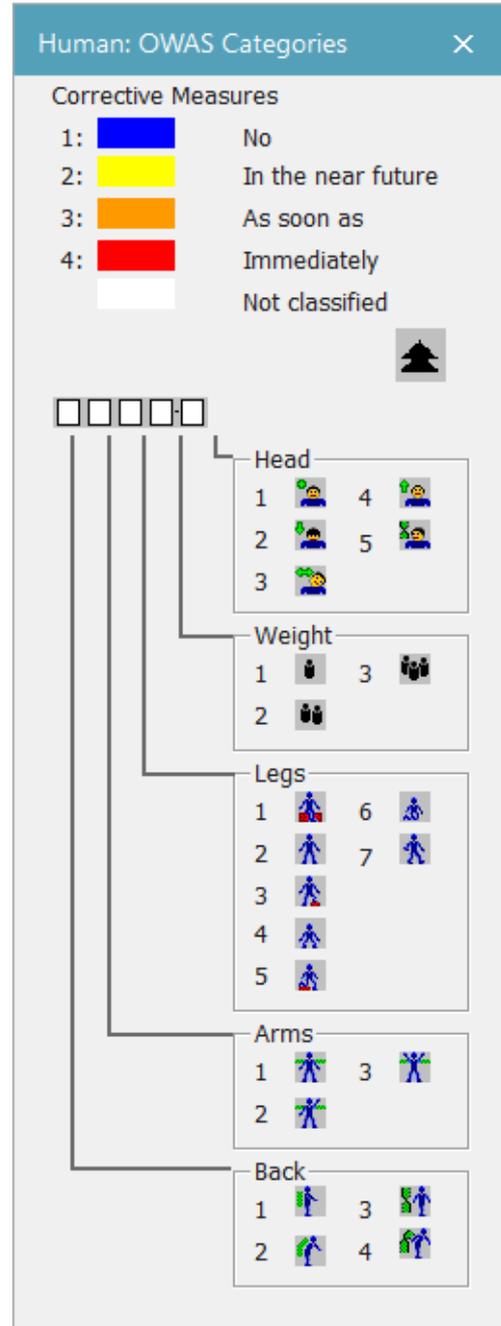


Fig. 30. La figura mostra la finestra di dialogo del software che schematizza il codice dello standard OWAS.

4. Accovacciato con entrambe le gambe piegate.
 5. Accovacciato con un solo ginocchio piegato.
 6. Inginocchiato su una o entrambe le ginocchia.
 7. Camminata/movimento.
- Carico:
 1. ≤ 10 Kg.
 2. Da 10 a 20 Kg.
 3. > 20 Kg.
 - Testa:
 1. Libera.
 2. Piegata in avanti.
 3. Piegata lateralmente.
 4. Piegata all'indietro.
 5. Contorta.

Lo stesso metodo suddivide il tipo di lavoro svolto dall'operatore in quattro categorie:

1. La postura è normale e naturale, il carico posturale e il sistema muscoloscheletrico è ottimo e accettabile. Non sono richieste misure correttive.
2. La postura potrebbe avere effetti dannosi sul sistema muscoloscheletrico. Il carico posturale è quasi accettabile. Non sono necessarie misure correttive nell'immediato ma potrebbero esserlo presto.
3. La postura ha un effetto dannoso sul sistema muscoloscheletrico. Il carico posturale è alto. Misure correttive devono essere effettuate il più presto

possibile.

4. La postura ha un effetto molto dannoso sul sistema muscoloscheletrico. Il carico posturale è molto alto. Misure correttive devono essere effettuate immediatamente.

Quando all'interno del software viene creata una sequenza di operazioni da far compiere all'operatore, è possibile creare dei report che valutano l'ergonomia di tutta la sequenza di operazioni, tramite i vari standard di cui dispone il software. A titolo di esempio, in fig.31 sono mostrati i report (valutati con lo standard OWAS) di due delle operazioni svolte dall'operatore nella stazione creata in fase di tirocinio che, seppur semplici, hanno lo scopo di rendere un'idea dell'importanza, ai fini della valutazione dell'ergonomia, di questo strumento offerto dal simulatore.

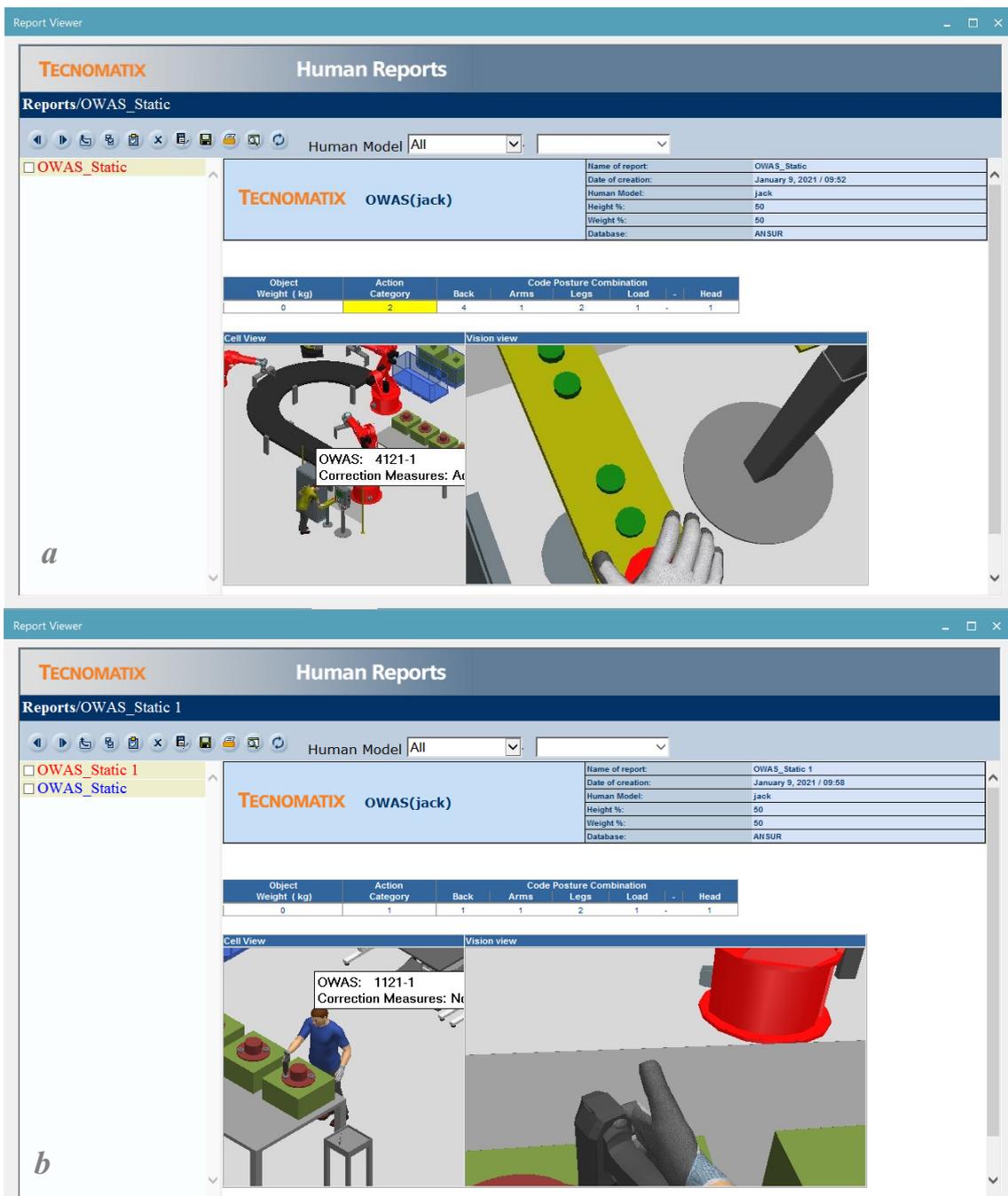


Fig. 31. La figura mostra i report ergonomici relativi a: **a)** l'operazione nella quale l'operatore preme il pulsante; **b)** l'operazione di avvitamento.

5 *Virtual Commissioning*

5.1 Introduzione e contestualizzazione

L'ultima fase nel processo di creazione (o modifica) di una cella di produzione consiste nella messa in opera dell'impianto e questo step prende il nome di *commissioning*. Spesso questa fase richiede molto tempo perché è necessario allestire delle aree adibite ai software in quanto il codice PLC viene testato solo dopo aver messo in opera tutto l'impianto. *Virtual Commissioning* offre una soluzione che consente di spostare a sinistra, nella scala dei tempi, gran parte del processo di *commissioning*, il quale viene effettuato in una fase precedente del processo. *VC* consiste nel creare un modello virtuale dell'impianto per poi connetterlo all'impianto reale.

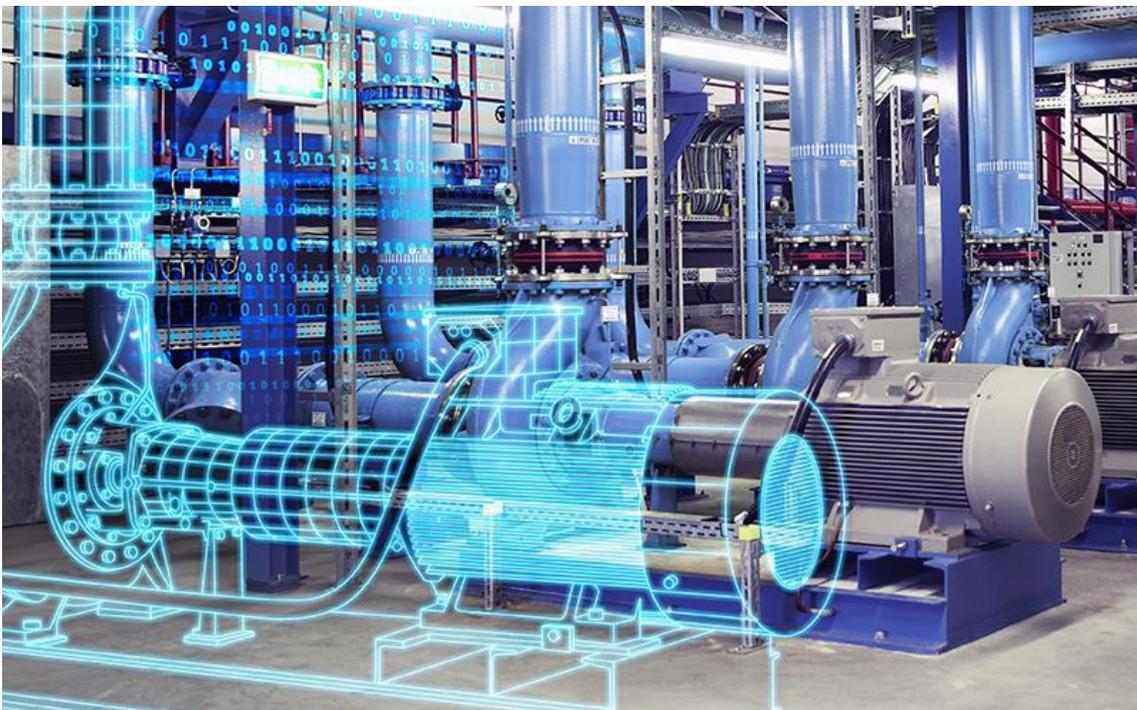


Fig. 32. Digital Twin

In altre parole, il *Virtual Commissioning* è la riproduzione virtuale del comportamento fisico di un macchinario o impianto, tramite la simulazione software. L'idea che è alla base di questa visione è connettere un modello digitale (*digital twin*) del sistema reale direttamente con il controllore reale. Il *virtual commissioning* permette di simulare il controllo meccanico ed elettronico per cui il modello derivante da questo processo altro non è che un alter-ego digitale. Un gemello digitale della macchina, o impianto su cui poter fare anche delle analisi e delle considerazioni che sarebbe difficile fare, durante il funzionamento, e diventerebbe molto più costoso e difficile. Grazie a questo approccio, si ottiene un modello di simulazione della macchina e già dalla fase della simulazione è possibile interagire con la progettazione, suggerire modifiche del progetto senza avere necessariamente implementato il prodotto.

Virtual Commissioning fa già parte dello scenario industriale. Le grandi aziende lo utilizzano già e stanno facendo la maggior parte dei test per le loro celle di lavorazione con *Virtual Commissioning*.

5.2 Di cosa si tratta?

Prima di proseguire con la trattazione, è utile fornire la seguente definizione di PLC.

Programmable Logic Controller (PLC): un computer utilizzato per il controllo dei processi industriali. Rileva lo stato di tutti gli input ad esso collegati (dispositivi quali sensori), esegue il programma creato dall'utente, attiva/disattiva gli output ad esso collegati (dispositivi quali attuatori).

Il primo stadio nella creazione di una cella di produzione consiste nell'assicurarsi che il progetto sia funzionante in tutte le sue parti, questa fase viene realizzata utilizzando un software di simulazione come Process Simulate. Il secondo stadio consiste nel verificare che il codice PLC creato dai programmatori funzioni. Il codice PLC abilita il design creato e codifica la logica che compone la cella. Process Simulate permette di eseguire entrambi i compiti, riducendo i tempi dedicati alla fase di *commissioning* e i costi relativi a eventuali modifiche.

Al giorno d'oggi i sistemi di produzione altamente automatizzati sono gestiti da controllori logici programmabili (PLC) tramite dei programmi che riescono a controllare utensili sofisticati, robot, linee di trasferimento ed equipaggiamenti di sicurezza. Questi programmi PLC permettono agli ingegneri di modificare una certa linea di produzione senza riequipaggiare o modificare l'impianto, ma semplicemente modificando il programma PLC che comanda la logica dell'impianto in modo opportuno. Tuttavia, quando viene effettuata una modifica, gli ingegneri devono comunque fermare la produzione per un certo periodo di tempo, per effettuare il *debug* del programma PLC, invece che per modificare l'impianto vero e proprio.

Con il *Virtual Commissioning*, in Process Simulate è possibile effettuare il *debug* del programma PLC in ambiente virtuale prima di caricarlo nell'impianto reale, consentendo la sua simulazione e successiva validazione. E' importante sottolineare che *Virtual Commissioning* crea una versione realistica di una cella produttiva per testare il programma PLC ed effettuarne il *debug*, ma non crea il programma PLC.

La simulazione in *Virtual Commissioning* può essere di due tipi:

- *Software in the loop*: il software è connesso ad un emulatore del controllore reale tramite OPC. Questa modalità consiste nel testare il programma PLC

su una sorta di PLC virtuale, senza collegare realmente gli input e gli output al controllore. Anche gli interventi degli operatori umani sono emulati in questa fase.

- *Hardware in the loop*: il software è connesso al controllore reale. Questa è la fase finale che consente agli ingegneri di verificare che il programma PLC funzioni nell'hardware reale.

Process Simulate è in grado di eseguire il programma PLC, qualsiasi sia il linguaggio con il quale è scritto (*ladder diagram*, *function block diagram*, *structured text*), l'importante è che i nomi dei segnali siano concordi nel PLC e nel software di simulazione.

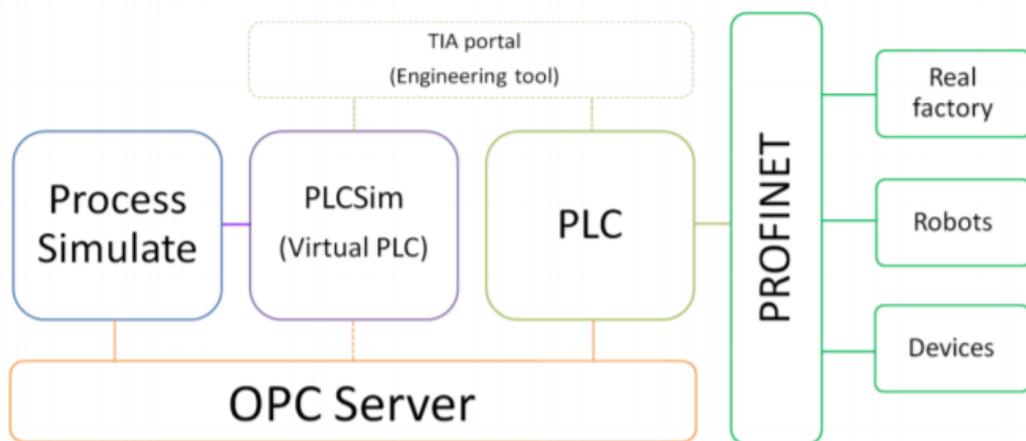


Fig. 33. La figura si propone di mostrare l'ordine con cui si susseguono le fasi salienti del processo di Virtual Commissioning: simulazione del processo industriale su software, software in the loop, hardware in the loop.

5.3 Benefici di VC

Benefici di Virtual Commissioning:

- riduce il tempo di messa in servizio delle macchine e impianti;
- riduce i tempi di sviluppo software;
- minimizzazione dei rischi di errore e migliore analisi sull'efficienza dell'impianto o della macchina già in fase di progettazione;
- maggiore controllo di tutto il ciclo di progettazione e simulazione;
- modifiche attuate in tempi minori;
- programma PLC di più alta qualità;
- ottimizza i processi interni;
- migliore efficacia commerciale permettendo ai commerciali di mostrare in fase di trattativa il comportamento della macchina o dell'impianto in maniera digitale;
- costi ridotti.

Conclusioni

Gli obiettivi posti all'inizio della fase di tirocinio sono stati raggiunti. Nonostante le prime difficoltà riscontrate durante l'addestramento sul software, il quale non è risultato semplice al primo utilizzo, poi grazie ai corsi messi a disposizione dall'Università Politecnica delle Marche sono riuscito ad acquisire un livello di competenza tale da permettermi di raggiungere il mio scopo.

Questa esperienza mi ha fatto realmente comprendere quanto sia importante la simulazione all'interno di un processo manifatturiero, e mi ha permesso di analizzare nel dettaglio e dal punto di vista pratico quali sono le fasi che ne costituiscono la progettazione e la successiva messa in opera. Un altro importante obiettivo raggiunto è stato l'apprendimento e l'addestramento, in maniera autonoma, di un nuovo software di grande utilità nell'industria odierna.

Non solo, ritengo questo lavoro estremamente importante anche a livello formativo, perché mi ha aperto la porta a diverse opportunità, tra cui il poter lavorare a livello pratico su un progetto facente parte del mondo lavorativo, e il poter migliorare il mio livello di problem solving.

Considero questa esperienza un buon modo per concludere il mio primo periodo di studi e mettere indirettamente in pratica alcune delle discipline studiate in questo primo percorso universitario, e la considero un ponte di collegamento con il proseguimento dei miei studi e il successivo inserimento nel mondo del lavoro.

Si ringraziano il Professor Matteo Claudio Palpacelli, il quale mi ha seguito in tutte le fasi del tirocinio e nella stesura di questo documento, e l'Università Politecnica delle Marche per avermi dato la possibilità di svolgere questo tirocinio.

Bibliografia e Sitografia

Siemens Tecnomatix Process Simulate. URL:

<https://www.engusa.com/it/product/siemens-tecnomatix-process-simulate>

Generalità sui robot industriali. URL:

http://www.giamod.it/documentazione%20robot/generalita/gen_robot.htm

Elementi di robotica industriale. Politecnico di Milano. URL:

<https://rocco.faculty.polimi.it/caut/Elementi%20di%20robotica%20industriale.pdf>

Other robots Reis RV6 L Robostars, scheda tecnica. URL:

<https://www.eurobots.net/Other-Robots-robots-Reis-RV6-L-RobotstarV--p86-en.html>

What is a pick and place robot? URL: <https://6river.com/what-is-a-pick-and-place-robot/>

Robot end effector: tipologie e innovazioni. URL:

<https://www.automazione.it/robot-end-effector-tipologie-e-innovazioni/>

Arrivano i robot industriali. URL: <https://www.elettronicanews.it/arrivano-i-robot-industriali/>

Virtual Commissioning: make the future yours. URL: <https://www.tech-value.com/page/virtual-commissioning>

Immagini prese da Google Immagini. URL: <https://www.google.it/imghp?hl=it>

Siemens Learning Advantage. Una buona parte delle fonti è costituita dal materiale dei corsi di addestramento sul software, fornitomi da UNIVPM. URL: <https://training.plm.automation.siemens.com/mytraining/home.cfm>

