



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Meccanica

**SIMULAZIONE DI POSTAZIONE DI LAVORO
CON SISTEMA DI PROTOTIPAZIONE
VIRTUALE**

**WORKSTATION SIMULATION WITH
VIRTUAL PROTOTYPING SYSTEM**

Relatore:
Prof. Michele Germani

Tesi di Laurea di:
Simone Trifiletti

A.A 2020/2021

SOMMARIO

Questo elaborato descrive uno studio finalizzato all'automazione di un processo di lucidatura di scarpe nell'industria calzaturiera.

L'obiettivo dello studio è dunque di individuare una soluzione produttiva che riesca a definire un percorso valido svolto dal robot senza intaccare la produttività.

Da una prima analisi dello stato attuale del processo, è emerso che la principale criticità nello svolgimento delle operazioni è relativa al movimento eseguito dal Robot.

Dopo aver analizzato l'operazione e i tempi richiesti per il processo, è stata valutata quindi la possibilità di integrazione di un robot collaborativo all'interno del processo, in grado di collaborare con l'uomo nello svolgimento delle operazioni di lucidatura.

È stata svolta l'analisi dello stato dell'arte dei robot collaborativi presenti sul mercato, e grazie ad alcuni parametri si è scelto quello con i maggiori requisiti richiesti.

La scelta è ricaduta su un robot collaborativo e non tradizionale in risposta all'esigenza di flessibilità dell'azienda e alla necessità di svolgere alcune operazioni a stretto contatto con un operatore.

In particolare, si è scelto un Universal Robot, ideale per operazioni di media portata, con un carico utile di 5 kg ed un raggio di azione di 850 mm ed un peso di soli 20 kg.

Successivamente, è stato messo a disposizione un file CAD per generare tramite il programma NX i percorsi sulla calzatura.

È stata dunque sviluppata una simulazione dei movimenti del robot in un ambiente virtuale al fine di verificarne l'applicabilità, stimarne i tempi e la produttività.

Infine, sono svolti dei test con dei ritagli di cuoio e su di essi è stato applicato del lucido tramite l'azione di un robot.

Questi test erano necessari per analizzare il comportamento della sostanza durante la distribuzione e per trovare la corretta velocità di esecuzione per aumentare le performance dell'automa.

In tale contesto si è dovuto tener conto della variabilità di forma della calzatura e della corretta distribuzione del lucido applicato.

Al momento si stanno ancora analizzando tutte le variabili presenti, come è stato detto precedentemente, si sta valutando la scelta del percorso che riesca a far ottenere un risultato ottimale come se il lavoro fosse svolto da un operatore e si sta studiando un sistema in grado di far variare la pressione esercitata dal robot sulla calzatura in esame.

INDICE

1. INTRODUZIONE	5
1.1. Robotica industriale	5
1.2. Automazione e robotica industriale	6
1.3. Funzionamento robot industriali	7
1.4. La collaborazione tra uomo e robot come obiettivo dell'industria	
4.0	10
1.5. Operazioni collaborative uomo-robot	15
1.6 Le applicazioni di automazione industriale	18
1.7. L'applicazione della robotica nel processo di lucidatura	19
2. STUDIO DELL'OPERAZIONE DI LUCIDATURA	22
2.1. Analisi delle fasi attuali di lucidatura	22
2.2. Descrizione moti del tool	24
3. DEFINIZIONE E SIMULAZIONE DEL PERCORSO	27
3.1 Descrizione del programma NX	27
3.2 Modello CAD calzatura	30
3.3. Rappresentazione percorso utensile tramite il software NX	32
3.4 Ciclo di lavorazione alternativo	39
4 PROGRAMMAZIONE DEL ROBOT	45

4.1 Post Processing e G-code	45
4.2 Programmazione del robot tramite RoboDK e Teach-Pendant	47
5. PROGETTAZIONE E SPERIMENTAZIONE	
CELLE	52
5.1 Progettazione celle di cuoio	52
5.2 Definizione del percorso sulle celle	54
CONCLUSIONI	59
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	61

1. INTRODUZIONE

1.1. Robotica industriale

L'innovazione tecnologica ha portato a una vera e propria rivoluzione nel settore produttivo, con la diffusione dei sistemi di robotica industriale.

Con la dicitura robotica industriale si intende una serie di macchine avanzate utilizzate all'interno delle industrie, in grado di svolgere compiti difficili e complessi in modo sicuro ed efficiente.

Si tratta di un settore piuttosto recente, legato allo sviluppo delle nuove tecnologie di intelligenza artificiale degli ultimi 20 anni.

Il progresso è stato ottenuto anche con la creazione di hardware sempre più sofisticati, capaci di replicare le principali azioni realizzate dagli esseri umani.

In generale, l'automazione industriale permette di sostituire gli uomini e le donne all'interno delle fabbriche, usando macchine sofisticate per svolgere tantissimi compiti che fino a qualche tempo fa erano effettuati appena dai dipendenti aziendali.

Questi strumenti sono chiamati robot industriali, in quanto sono macchine progettate appositamente per le applicazioni nei luoghi di produzione, con specifiche tecniche e operative riservate all'ambito industriale.

1.2. Automazione e robotica industriale

L'automazione industriale è una branca sorta per offrire una serie di benefici alle aziende e ai lavoratori stessi. Innanzitutto, l'obiettivo era quello di ottimizzare i costi, in quanto la sostituzione delle persone con le macchine consente di aumentare la produttività e diminuire le spese per le imprese. Inoltre, i robot industriali possono minimizzare i rischi per gli essere umani, evitando la loro occupazione in attività complesse e pericolose, ad esempio dove esiste il contatto potenziale con sostanze infiammabili o esplosive.

Allo stesso tempo i robot possono svolgere attività pesanti, come sollevare carichi elevati e maneggiare componenti complessi in modo sicuro, lasciando agli operai industriali la possibilità di svolgere altri compiti meno gravosi per la salute.

Il primo avanzamento si è ottenuto con la rivoluzione industriale, quando iniziarono ad essere usate le prime macchine per svolgere attività che prima erano effettuate

soltanto dagli uomini, oppure sfruttamento il lavoro degli animali.

In questa fase si passò da un primo step, in cui le macchine richiedevano comunque la presenza delle persone per funzionare, fino a un'interazione più avanzata tra uomo e macchina nelle fabbriche.

È il caso, ad esempio, delle prime catene di montaggio nel settore automotive, laddove sistemi meccanici e addetti lavorano in modo sinergico per ottenere il prodotto finale.

Dopodiché si è passati all'automazione industriale delle macchine, in cui sono state cedute anche alcune operazioni di controllo, riservando ai tecnici il compito di verificare il corretto funzionamento dei sistemi robotizzati. L'evoluzione dell'informatica e dell'elettronica ha permesso di sviluppare nuovi robot industriali avanzati, in grado di realizzare quasi ogni tipo di attività grazie all'utilizzo di microprocessori e controllori programmati da appositi tecnici tramite software. L'intervento umano è passato dunque dall'essere ridotto a completamente assente; infatti, nelle moderne fabbriche di oggi la presenza delle persone è estremamente limitata e riservata a compiti di programmazione e controllo.

1.3. Funzionamento robot industriali

Dalla fine del XVIII secolo ad oggi i robot industriali hanno accompagnato le quattro rivoluzioni del settore.

- prima rivoluzione industriale (secolo XVIII-XIX): le macchine azionate con energia meccanica aiutano gli uomini a svolgere attività complesse e gravose;
- seconda rivoluzione industriale (fine XIX secolo prima metà del XX secolo): l'elettricità permette la produzione in massa e introduce l'approccio della catena di montaggio;
- terza rivoluzione industriale (seconda parte del XX secolo): elettronica e informatica consentono di automatizzare alcuni processi, riducendo la presenza delle persone nelle fabbriche;
- quarta rivoluzione industriale: Big Data, intelligenza artificiale e machine learning permettono di usare macchine industriali intelligenti senza la presenza degli uomini.



Figura 1: Esempio di robot industriale

Dalla figura 1 si può notare un tipico robot industriale progettato allo scopo di assemblare parti meccanica in una catena di montaggio.

1.4. La collaborazione tra uomo e robot come obiettivo dell'industria 4.0

La nuova Industria 4.0 si fonda su nove pilastri fondamentali: simulation, horizontal and vertical system integration, the industrial internet of things, cybersecurity, the cloud, additive manufacturing, augmented reality, big data and analytics, autonomous robots. Per quanto riguarda il primo punto, simulation, i dati sugli operatori, sui mezzi di produzione e sui prodotti vengono impiegati per simulare nuovi settaggi dei macchinari in un mondo virtuale prima del fisico changeover. Riguardo a horizontal and vertical system integration, ci sarà maggior coesione tra compagnie, dipartimenti, funzioni e competenze. Ciò prevede un maggior scambio di informazioni tra compagnie, fornitori e venditori. Il terzo punto, the industrial internet of things, comporta l'inserimento di computer embedded all'interno dei macchinari e un sistema che consente di connetterli a internet in modo da avere un controllo centralizzato dei mezzi in produzione. Con l'aumentare dei mezzi connessi a Internet diventa estremamente importante il tema della sicurezza, cybersecurity, per far ciò saranno impiegati, per esempio, sistemi di autenticazione più sofisticati.

Tramite la connessione a internet è possibile accedere a servizi web per depositare dati e utilizzare applicazioni che monitorano e controllano i processi, la reattività di tali piattaforme dovrà scendere a pochi millisecondi, questo è il quinto punto: the cloud. Per quanto riguarda additive manufacturing, le stampanti 3D avranno un ruolo fondamentale per produrre componenti e prototipi.

Inoltre, l'analisi condotta su un vasto insieme di dati, big data analytics, consentirà di risparmiare energia e ottimizzare la qualità della produzione. La realtà aumentata, augmented reality, permetterà agli operatori di usufruire comodamente di informazioni e di ricevere istruzioni sul posto di lavoro, indossando, per esempio, occhiali che sfruttano questa tecnologia.

Il punto fondamentale per questa tesi è autonomous robots, cioè il fatto che i robot stanno diventando più flessibili, autonomi e collaborativi, lavoreranno vicino agli operatori e impareranno da loro, costeranno meno e saranno più abili rispetto ai robot attuali.



Figura 2: Esempio di robot collaborativo

Con l'industria 4.0 i robot industriali possono lavorare quasi del tutto in maniera autonoma, usando sistemi di machine learning per diventare sempre più prestazionali e in grado di prendere decisioni in maniera indipendente. Queste macchine sono realizzate grazie al contributo di vari settori come la mecatronica e l'informatica, per consentire il perfetto connubio tra i software per l'apprendimento e l'elaborazione dei dati con il movimento necessario per le attività industriali.

I robot industriali moderni non solo sono in grado di effettuare compiti impartiti da un tecnico tramite software, ma possono capire in maniera autonoma qual è il modo migliore per eseguire la lavorazione da effettuare considerando innumerevoli variabili.

Ovviamente esistono diversi tipi di robot per l'industria, come i bracci meccanici, le macchine che si muovono sui tre assi cartesiani in modo lineare, oppure i moderni robot collaborativi capaci di interagire senza pericoli con gli esseri umani. Conosciuti anche come cobot, sono robot antropomorfi avanzati sorti circa 10-15 anni nel campo industriali, rappresentando ad oggi uno dei modelli più sofisticati disponibili. Queste macchine sono in grado di muoversi su un sistema a sei assi, inoltre possono lavorare a stretto contatto con l'operatore in perfetta sicurezza, anche senza alcuni tipo di protezione. I robot industriali convenzionali, infatti, devono essere installati in modo da evitare rischi e contatti con le persone, mentre quelli antropomorfi in più possono garantire performance migliori in termini di velocità e richiedono un ingombro ridotto.

Ad esempio, con un robot collaborativo l'addetto di un laboratorio di ricerca può mettere insieme dei campioni, dopodiché passa le provette alla macchina che si occupa di gestirle per le varie analisi da effettuare, mentre il software fornisce infine i risultati delle analisi. I robot industriali collaborativi si possono usare nelle stesse zone di lavoro in cui operano le persone, ad esempio per realizzare la pallettizzazione dei prodotti mentre il tecnico svolge altri compiti, oppure pesare le confezioni nella stessa postazione in cui un tecnico esegue i controlli di qualità.

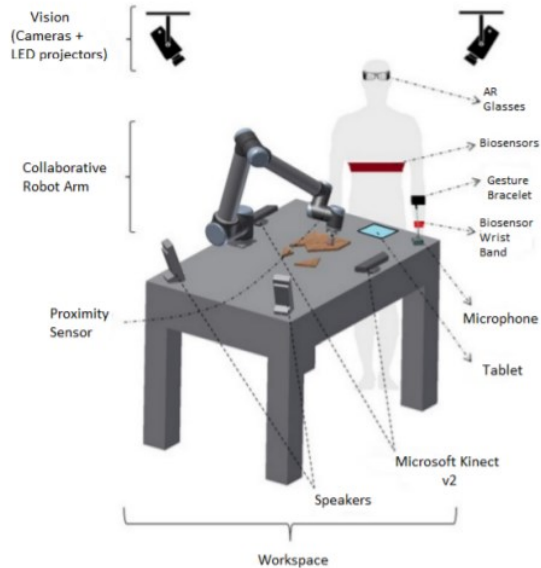


Figura 3: Hardware per la collaborazione tra uomo e robot

Nella figura 3 è rappresentata la postazione di collaborazione tra uomo e robot, si può notare la presenza di vari sensori che servono all'automata per lavorare in sicurezza e con precisione al fine di velocizzare e ottimizzare l'operazione che si sta trattando.

1.5. Operazioni collaborative uomo-robot

Le operazioni hanno in comune il fatto di essere eseguite in uno spazio di lavoro collaborativo, ovvero una porzione della cella in cui sia l'uomo che il robot hanno accesso per eseguire un compito determinato. Le operazioni collaborative che verranno descritte possono avvenire singolarmente oppure in combinazione. Ogni falla del sistema di sicurezza deve risultare in uno stop protettivo e l'operazione interrotta potrà iniziare nuovamente dopo un reset che l'operatore deve effettuare esternamente allo spazio di lavoro collaborativo.

Nello specifico le operazioni che sono possibili effettuare sono:

- **Pick&Place:** le operazioni di raccolta e posizionamento manuale, sono tra le più ripetitive e banali oggi eseguite dagli operatori umani. La ripetitività comporta spesso un alto tasso di errore e scarso rispetto delle tempistiche. Il Pick&Place è forse la prima applicazione, in termini di facilità e immediatezza, per un cobot. Prendere un oggetto, spostarlo e depositarlo in un altro punto è generalmente la prima funzione per la quale pensare a un cobot in grado di operare in tutta sicurezza nello stesso spazio di un operatore umano.
- **Machine Tending:** l'asservimento a una macchina richiede la presenza per lunghe ore di un operatore umano davanti a un macchinario industriale. È un

processo lungo, faticoso e impegnativo che riguarda non solo il carico e lo scarico della macchina ma anche altre operazioni del sistema automatizzato di produzione, dall'ispezione e controllo al soffiaggio e lavaggio, fino al confezionamento.

I cobot possono liberare da molte di queste operazioni l'operatore umano, anche interagendo con due o più macchine, garantendo maggior produttività

- Imballaggio e pallettizzazione: queste sono funzioni che conseguono dal Pick&Place: al termine del processo produttivo e prima di lasciare la fabbrica, i prodotti devono essere imballati e stipati su pallet. Si tratta di un'operazione ripetitiva, da eseguire con velocità e precisione, che comporta lo spostamento e l'imballaggio di oggetti dalle dimensioni, dalle forme e dai peso più diversi. Nella fase di imballaggio e pallettizzazione i cobot possono migliorare la sincronizzazione con l'intero processo produttivo, la standardizzazione della qualità di imballaggio, la velocizzazione delle operazioni, liberando l'operatore umano per altri compiti non ripetitivi.
- Controllo qualità: anche per questa applicazione precisione e ripetibilità espresse dai cobot sono particolarmente performanti e indicate. Per questa fase strategica del processo produttivo i cobot sono un'automazione vantaggiosa in grado di generare efficienza e produttività. La vasta gamma di applicazioni come sensori e sistemi di visione 2D e 3D li rende applicabili in fasi come il controllo metrologico e dimensionale.

- Assemblaggio: dotati di un sensore forza/coppia sul polso possono essere integrati in qualsiasi applicazione di assemblaggio garantendo costantemente l'erogazione della giusta forza nella manipolazione dei componenti.
- Finitura superficiale: trovano applicazione anche in rapporto a materiali delicati come il legno e su superfici curve. Il sensore di forza sul sesto asse garantisce il rispetto delle superfici e ottime prestazioni.
- Saldatura: I cobot possono automatizzare numerosi tipi di saldatura: TIG, MIG, plasma cutting, a punti, brasatura. Con i cobot è possibile incrementare qualità e precisione dei cordoni di saldatura e migliorare l'ergonomia del task sollevando gli operatori da un'operazione potenzialmente rischiosa e insalubre.
- Erogazione: con un cobot è possibile impostare traiettorie di precisione micrometrica nell'applicazione di collanti e sigillanti. Questo da un lato aumenta la precisione e la coerenza del task, dall'altro riduce scarti e consumo di materiale.

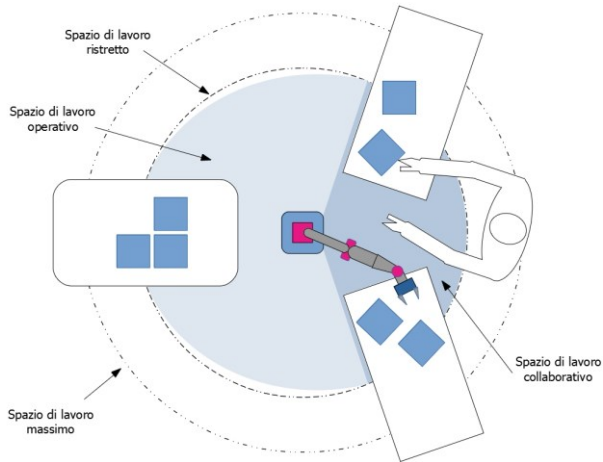


Figura 4: Esempio di operazione collaborativa e spazi di lavoro

1.6 Le applicazioni di automazione industriale

Le applicazioni dei robot industriali sono innumerevoli, infatti grazie alle nuove macchine collaborative e alle soluzioni che integrano sistemi di IA è possibile usare questi dispositivi in qualsiasi ambito. In particolare, l'automazione industriale si trova nei seguenti settori:

- automotive;
- aerospaziale;
- alimentare;
- biotecnologie;
- chimico;

- elettronica;
- medicale;
- nautico.

I sistemi robotizzati trovano impiego nella produzione di attrezzature sportive, di arredi complessi e nel modellaggio 3D nel settore artistico. I robot industriali possono svolgere attività di lucidatura, avvitare, realizzare analisi di laboratorio, incollare e saldare. Queste macchine possono operare in ambienti insalubri, pericolosi e difficili, lavorando sia in modo autonomo sia in collaborazione con tecnici e operai.

1.7. L'applicazione della robotica nel processo di lucidatura

Lucidatura e finitura superficiale sono lavorazioni che si prestano particolarmente bene all'impiego dei robot, in virtù della loro capacità di adattarsi in modo flessibile ad esigenze produttive eterogenee e alle specifiche dei più diversi materiali, dai metalli al vetro, fino ad arrivare anche alle calzature. La lucidatura effettuata con l'ausilio di robot è un processo affidabile, molto preciso e decisamente rapido, che può dare un contributo decisivo all'efficientamento della postazione, alla qualità percepita del prodotto finale ed alla redditività produttiva complessiva.

In questo elaborato verrà descritto in modo dettagliato il processo di lucidatura di calzature ad opera di un robot collaborativo, in particolare verrà definita la traiettoria dell'automa e simulato il movimento studiato.

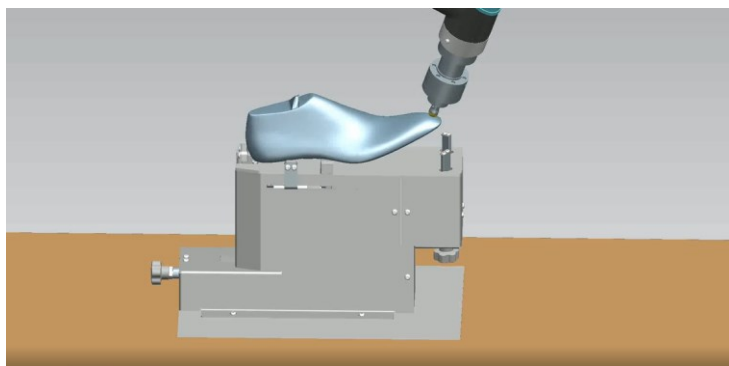


Figura 5: Esempio di lavorazione di lucidatura eseguita mediante un robot collaborativo

Come si può notare dalla figura 5, la scarpa viene disposta su un banco di lavoro con intorno il robot che agisce sulla sua superficie applicando il lucido.

2. STUDIO DELL'OPERAZIONE DI LUCIDATURA

2.1. Analisi delle fasi attuali di lucidatura

Inizialmente per la corretta riuscita del progetto si è studiata l'operazione di lucidatura cercando di capire le fasi che la componevano.

Il ciclo di lavoro cominciava con il controllo visivo delle calzature, per controllare se ci potessero essere problemi di qualche tipo, poi veniva inserita la forma della calzatura e l'operatore posizionava un panno di cotone tra le sue dita, in particolare l'indice e il medio avvolgendolo più volte su di esse.

Una volta terminate le fasi preparatorie veniva preso il lucido e prelevato tramite il panno per poi essere strofinato con movimenti circolari su dello scotch bianco per distribuire in modo omogeneo il lucido. Una volta fatto ciò cominciava l'operazione di lucidatura in sé partendo dalla punta della calzatura e andando a distribuire il lucido con movimenti circolari.

Successivamente si passava alle altre zone laterali e posteriore alternando movimenti circolari nella parte alta e movimenti trasversali nella parte inferiore della scarpa.

Dopo una prima passata completa l'operatore risistemava il panno sulle proprie dita, intingeva il panno nell'acqua prendeva il lucido e ricominciava con una seconda passata su tutta la calzatura.



Figura 6: Operatore che procede nella lucidatura di una calzatura manualmente

Dopo aver descritto il ciclo di lavorazione si sono fatte alcune osservazioni; infatti, si è notato ad esempio che lo step 5 e lo step 10 sono di fondamentale importanza per non far macchiare la calzatura.

Mentre nello step 4 e nello step 9 si dovranno fare dei test per definire la miglior modalità per il prelievo del lucido.

Inoltre, nella fase 7 è fondamentale che si cambi il panno poiché si passa dalla fase uno (senza acqua) alla fase due (con l'acqua) e dovrà quindi essere deciso quante volte cambiare il tool all'interno della fase

2.2. Descrizione moti del tool

Una volta definita l'operazione di lucidatura e aver studiato correttamente il movimento del braccio dell'operatore, sono state definite delle zone nella quale il movimento del tool del robot fosse diverso in modo da massimizzare la somiglianza con il movimento dell'uomo.

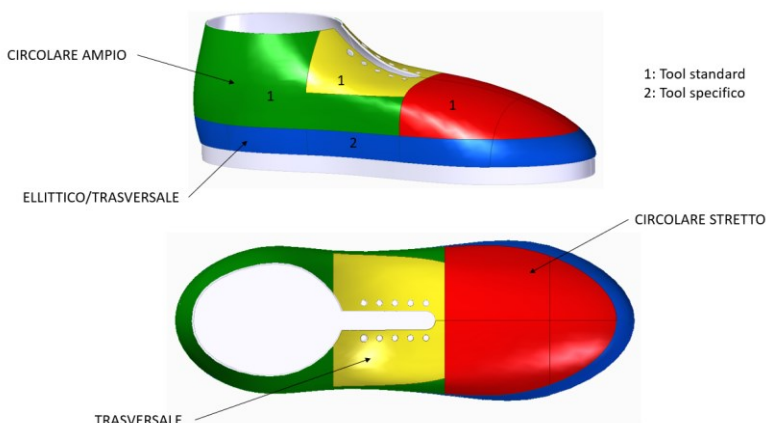


Figura 1: Zone della calzatura con movimenti del tool differenti

Come si può notare dalla figura 6 oltre ai movimenti del tool, è stato ipotizzato l'uso di un tool specifico oltre ad uno di tipo standard.

Questo perché nella zona inferiore della calzatura si lavora in sottosquadro e per questo motivo si ha il bisogno di utilizzare un tool differente con un diametro minore di quello standard.

Infatti, nella simulazione dei movimenti del robot sono stati inseriti due valori differenti del diametro del tool a seconda del fatto che si stia lavorando nella parte inferiore o superiore della calzatura.

In particolare, si è scelto di utilizzare come diametri:

- 30 mm nel caso di tool standard
- 15 mm nel caso di tool specifico

Nella parte superiore invece, sono distinguibili tre zone caratterizzate ognuna da un diverso colore.

Ognuno di questi colori rappresenta un movimento che il robot esegue durante il suo passaggio, ad esempio nella zona gialla i movimenti sono per lo più trasversali, mentre nella zona rossa si utilizzano movimenti più circolari di carattere stretto a differenza della zona verde dove il più utilizzato è un movimento circolare ampio in modo da coprire maggiormente l'area interessata.

3. DEFINIZIONE E SIMULAZIONE DEL PERCORSO

3.1 Descrizione del programma NX

L'uso del computer per scopi di progettazione è un argomento vasto che include CAD, CAM e CAE.

NX è uno dei prodotti CAD/CAM/CAE più avanzati e strettamente integrati al mondo, poiché abbraccia l'intera gamma di sviluppo del prodotto e semplifica la progettazione di prodotti complessi, accelerando così il processo per introdurre i prodotti nel mercato.

La progettazione assistita da computer, come viene comunemente chiamata, utilizza un gran numero di strumenti progettati per aiutare e assistere ingegneri e progettisti in molteplici attività. La progettazione assistita da computer è uno strumento rivoluzionario, specialmente nella progettazione che ha aiutato a risparmiare tempo e denaro.

Il CAD è una tecnologia che si occupa dell'utilizzo di sistemi informatici per assistere nella creazione, modifica, analisi e ottimizzazione di un progetto. Qualsiasi programma per computer che incorpora la computer grafica e un programma applicativo che facilita le funzioni di ingegneria

nel processo di progettazione può essere classificato come software CAD.

Il ruolo fondamentale del CAD è definire la geometria del progetto: una parte meccanica, un prodotto assemblaggio, una struttura architettonica, un circuito elettronico, un layout di edificio, ecc. Il più grande i vantaggi dei sistemi CAD sono che possono risparmiare molto tempo e ridurre gli errori senza dover ridefinire da zero la geometria del disegno ogni volta che serve.

La tecnologia CAM coinvolge sistemi informatici che pianificano, gestiscono e controllano la produzione; infatti, una delle aree più importanti del CAM è il controllo numerico (NC).

Il Controllo Numerico è un sistema di controllo che coordina i movimenti di una macchina utensile in maniera tale da far seguire all'utensile traiettorie predefinite su specifici assi escludendo l'intervento dell'operatore, in questo modo si può controllare una macchina utensile, che taglia, fresa, rettifica, punzona o trasforma grezza magazzino in una parte finita. Un'altra importante funzione CAM è nella programmazione dei robot.

La tecnologia CAE utilizza un sistema informatico per analizzare le funzioni di un prodotto creato da CAD, consentendo ai progettisti di simulare e studiare come si comporterà il prodotto in modo che il design possa essere raffinato e ottimizzato.

Gli strumenti CAE sono disponibili per diversi tipi di analisi. Ad esempio, nella cinematica i programmi di analisi possono essere utilizzati per determinare percorsi di movimento e velocità di collegamento nei meccanismi, oppure nell'analisi dinamica possono essere utilizzati per determinare carichi e spostamenti.

Uno dei metodi di analisi più diffusi è il Metodo degli elementi finiti (FEM), questo approccio può essere utilizzato per determinare sollecitazioni, deformazioni, trasferimento di calore, distribuzione del campo magnetico, flusso di fluidi e altri problemi di campo continuo che sono spesso troppo difficili da risolvere con qualsiasi altro approccio.

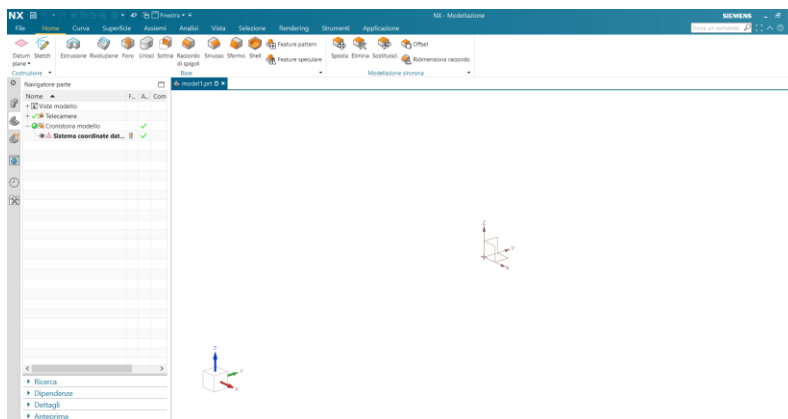


Figura 2: Layout software NX

3.2 Modello CAD calzatura

Affinché si potesse definire il percorso sulla scarpa era necessario possedere un file CAD di quest'ultima.

Il CAD dato dall'azienda è stato ottenuto attraverso un processo di modellazione della calzatura a partire dalla scansione della stessa. Tuttavia, ricavare un modello le cui superfici sono perfettamente chiuse e non presentano alcun tipo di irregolarità è un processo particolarmente complicato e dispendioso, soprattutto a regime. A tal proposito, si sta procedendo all'identificazione della migliore strategia di modellazione il cui output soddisfi i requisiti richiesti.

Proprio per questo è stato utilizzato il file di una calzatura generica per poi inserire la calzatura nella sezione simulazione di NX.

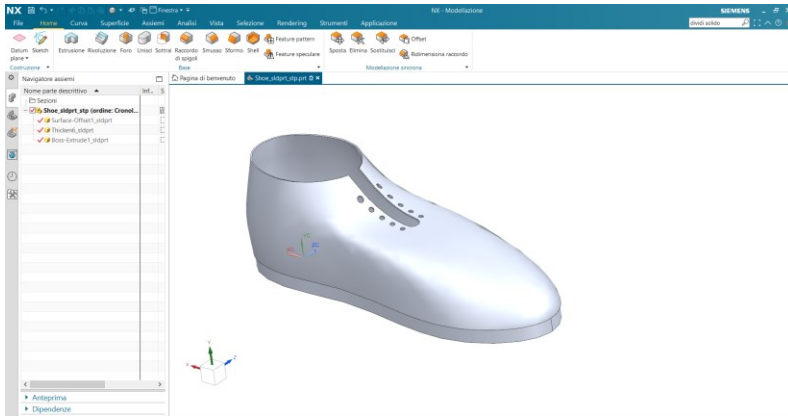


Figura 3: File CAD calzatura generica

Successivamente la scarpa è stata divisa (nella sezione Modelling di NX) tramite dei piani paralleli agli assi in modo da definire diverse zone sulla quale rappresentare il percorso svolto dall'operatore durante la lavorazione.

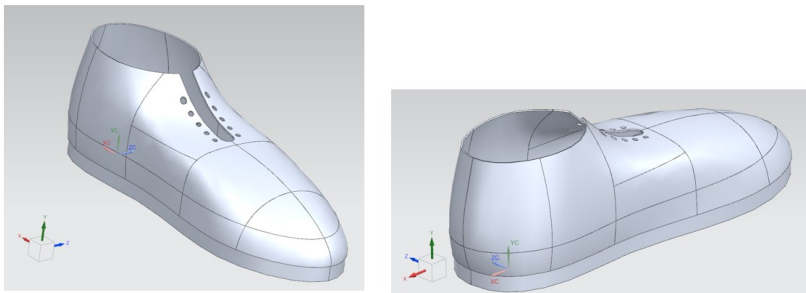


Figura 4: Divisione scarpa mediante piani paralleli agli assi

3.3. Rappresentazione percorso utensile tramite il software NX

Dopo aver suddiviso la scarpa si è utilizzata la sezione Manufacturing per la creazione del percorso su ogni area della scarpa, riuscendo ad individuare una suddivisione di 10 cicli che permettevano di descrivere l'intera lavorazione eseguita manualmente. La lavorazione scelta era quella chiamata multi-axis-deposition poiché era quella più idonea al lavoro da svolgere essendo una delle poche lavorazioni che permette l'aggiunta di materiale.

Ogni ciclo era suddiviso in questo modo:

- CICLO 1: il tool viene fatto passare nella parte anteriore della calzatura con particolare attenzione alla punta in modo da ottenere una lucidatura iniziale,

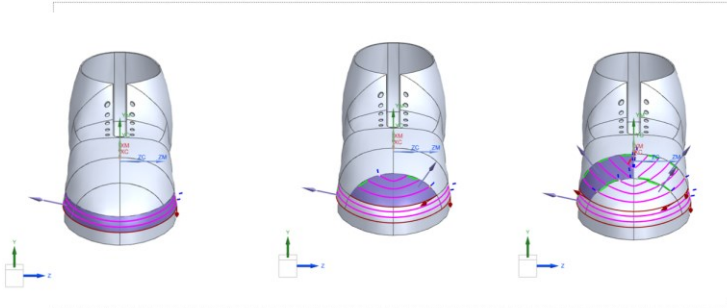


Figura 5: Ciclo 1

- CICLO 2: Il tool passa nella parte anteriore/laterale della scarpa, inizialmente nella parte bassa poi nella parte alta vicino ai fori per i lacci,

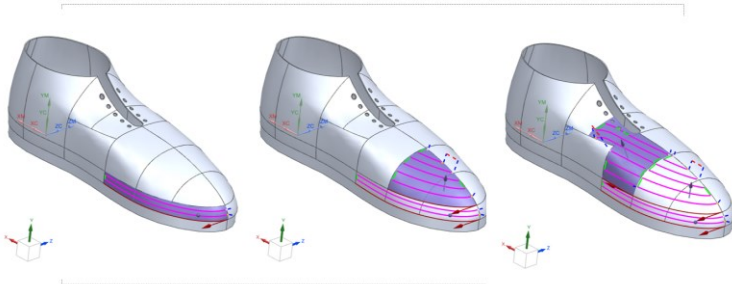


Figura 6: Ciclo 2

- **CICLO 3:** La lavorazione si concentra in modo particolare nella parte laterale della calzatura, con movimenti lunghi e trasversali nella zona inferiore e circolari nella parte superiore,

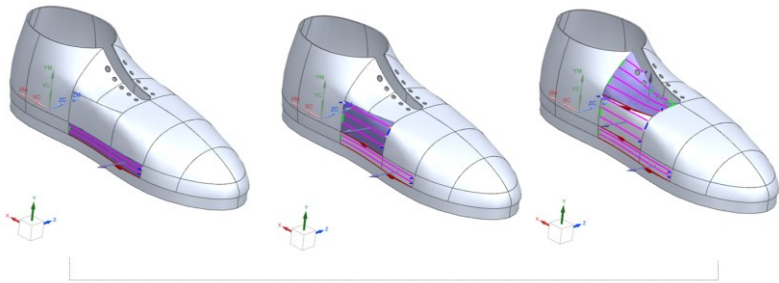


Figura 7: Ciclo 3

- **CICLO 4:** Il tool passa proprio come nel ciclo 2 nella parte anteriore/laterale in modo esattamente speculare al ciclo 2

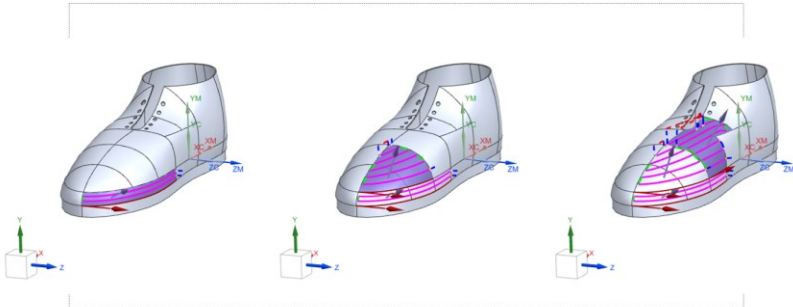


Figura 8: Ciclo 4

- **CICLO 5:** Anche il ciclo 5 come il precedente è speculare al ciclo 3 infatti, la lavorazione si concentra nella parte laterale della scarpa con movimenti lunghi e trasversali nella zona inferiore e circolari nella parte superiore,

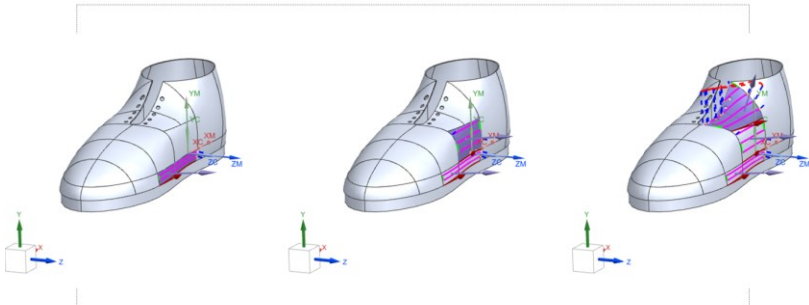


Figura 9: Ciclo 5

- CICLO 6: Il tool passa nella zona posteriore della calzatura e nella zona posteriore/laterale, con movimenti ampi e verticali,

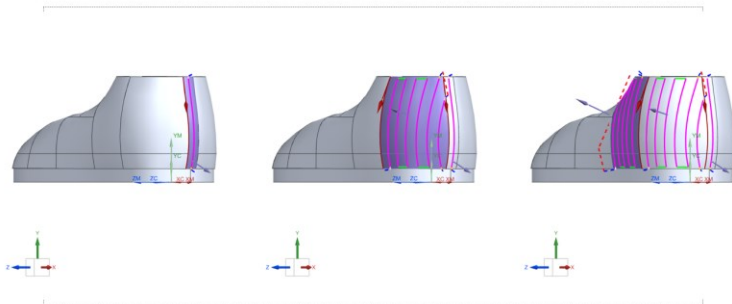


Figura 10: Ciclo 6

- CICLO 7: La lavorazione si concentra in modo particolare nella zona posteriore essendo una delle più importanti dell'intera lavorazione,

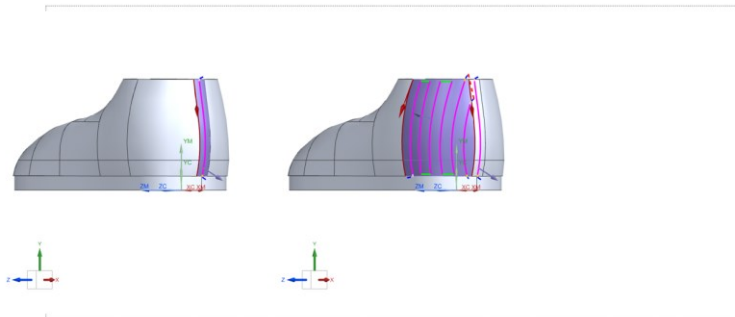


Figura 11: Ciclo 7

- **CICLO 8:** Anche qui il ciclo 8 è esattamente speculare al ciclo 7 essendo il file CAD della calzatura simmetrico,

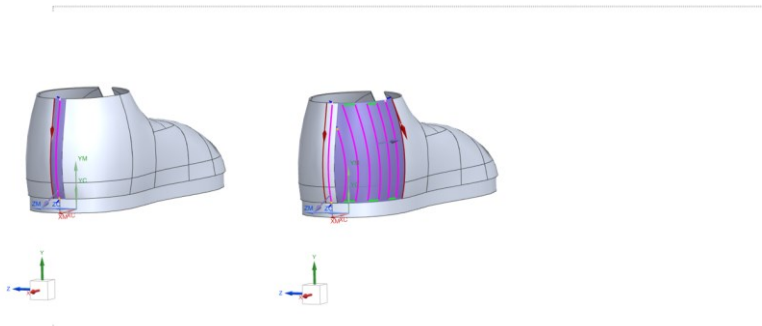


Figura 12: Ciclo 8

- CICLO 9: La lavorazione è la stessa del ciclo 6 per la natura simmetrica della calzatura, le zone interessate sono quelle posteriori e posteriore/laterale con movimenti ampi e verticali,

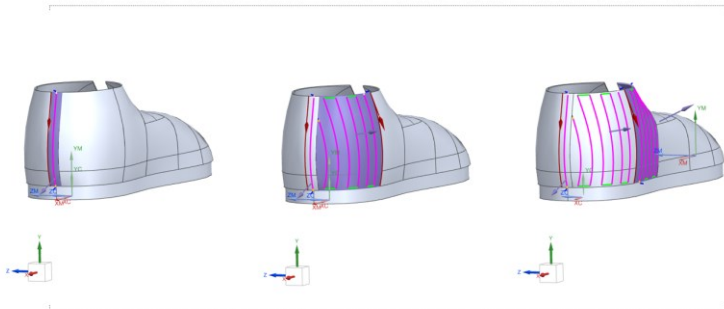


Figura 13: Ciclo 9

- CICLO 10: Questo è il ciclo finale della lavorazione che prevede una passata nella zona anteriore della calzatura, in particolare sulla punta di questa poiché, oltre essere la zona più ampia è una delle zone che spicca di più una volta lucidata.

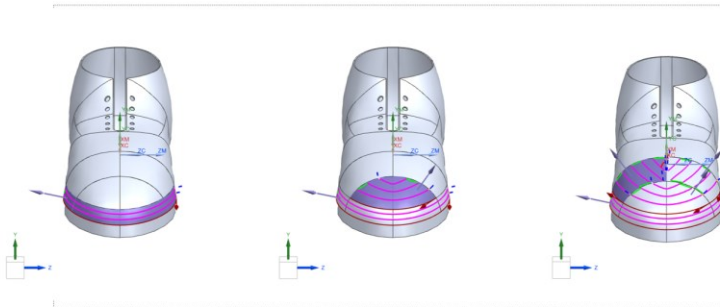


Figura 14: Ciclo 10

3.4 Ciclo di lavorazione alternativo

Il ciclo illustrato precedentemente era solo uno di quelli studiati; infatti, è possibile descrivere un altro tipo di ciclo alternativo che ha come scopo quello di raggruppare più zone contemporaneamente in modo da velocizzare la lavorazione.

Di seguito viene descritta inizialmente la suddivisione della scarpa e successivamente l'analisi delle singole zone.

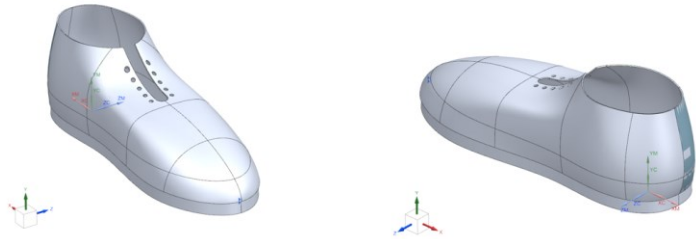


Figura 15: Alternativa di suddivisione della calzatura

Per quanto riguarda il ciclo di lavorazione invece, sono stati individuati 8 cicli per completare l'intera operazione ma in questo caso ne verranno elencati solo 4 visto che i restanti saranno simmetrici:

- CICLO 1: La lavorazione si concentra in modo particolare nella zona anteriore con particolare attenzione alla punta, a differenza del ciclo descritto precedentemente si può notare che viene lavorata sia la parte destra che quella sinistra della punta,

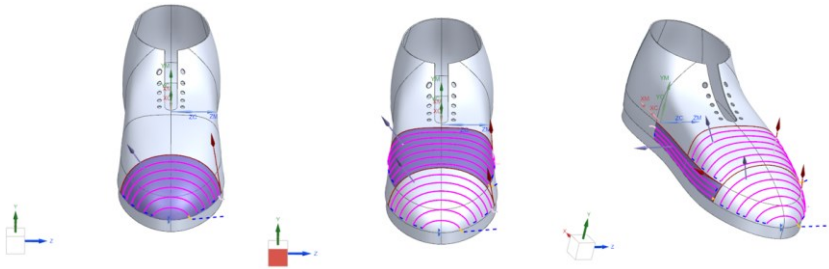


Figura 16: Ciclo alternativo 1

- **CICLO 2:** Il tool viene fatto passare nuovamente nella zona frontale concentrandosi principalmente nella parte alta della scarpa,

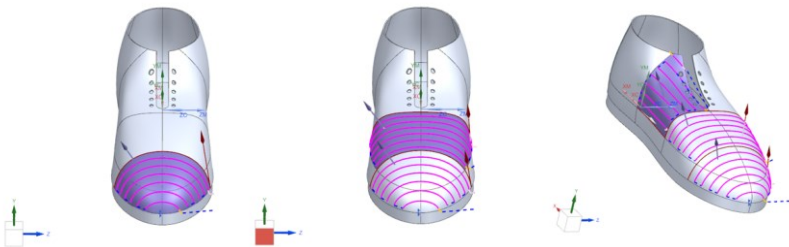


Figura 17: Ciclo alternativo 2

- CICLO 3: La zona interessata questa volta è quella posteriore che a differenza del percorso analizzato prima (caratterizzato principalmente da movimenti verticali) questa volta presenza una combinazione di movimenti verticali nella parte superiore e orizzontali nella parte inferiore.

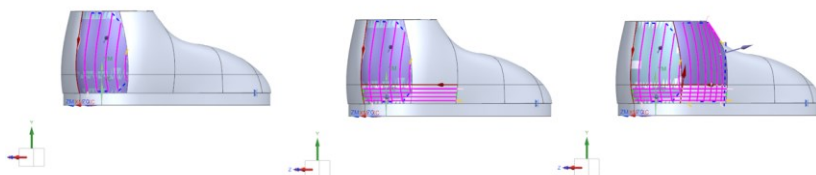


Figura 18: Ciclo alternativo 3

- CICLO 4: Ciclo finale composto essenzialmente dagli stessi movimenti del ciclo 1 per rifinire e distribuire più omogeneamente possibile il lucido nella parte frontale della calzatura.

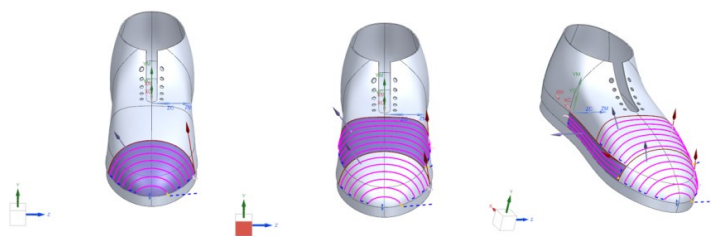


Figura 19: Ciclo alternativo 4

Questo secondo percorso però è ancora in fase di studio, a differenza del primo illustrato che probabilmente verrà utilizzato nei primi test nella fase di sperimentazione. Ciò non toglie però che questo secondo percorso possa essere valutato in un secondo momento. Inoltre, si stanno valutando ancora diversi tipi di percorsi in modo da trovare la perfetta armonia tra velocità di esecuzione e riuscita dell'operazione.

4 PROGRAMMAZIONE DEL ROBOT

4.1 Post Processing e G-code

Dopo aver analizzato il percorso tramite il programma NX si è estratto con il comando di ‘Post Processing’ il G-code corrispondente per la programmazione del robot.

Il Post Processing è quando converti l'immagine del percorso utensile sullo schermo, nella lingua per una specifica macchina NC. Questo output è solitamente sotto forma di G-Code, un formato alfanumerico utilizzato per guidare la macchina utensile. Macchine diverse utilizzeranno variazioni di questo formato G-Code per i loro controlli. Quindi, sebbene vi sia una certa standardizzazione dei codici, non tutte le macchine utilizzano lo stesso formato G-Code.

I G-Code, in particolare, si utilizzano per comporre una lunga sequenza di comandi per descrivere il lavoro di una macchina utensile in modo preciso e ripetibile. Ogni istruzione corrisponde a un'azione della macchina. Le sequenze di G-Code si utilizzano per controllare ogni tipo di macchina a controllo numerico (CNC), come possono esserlo frese a tre assi, laser cutter e le stampanti 3D.

I G-code sono prodotti da un programma CAM (Computer Aided Manufacturing), che analizza il file in ingresso e

calcola i movimenti della macchina che si dovrà utilizzare per ricreare “fisicamente” l’oggetto, per questo è importante che i file siano “semplificati”.

Il CAM deve inoltre conoscere tutti i parametri e le caratteristiche della macchina che compirà il lavoro: tipo di lavorazioni, misure del piano di lavoro, caratteristiche dell’utensile, velocità di rotazione, temperatura di funzionamento, pressione.

I CAM più complessi cercano di ottimizzare i percorsi della macchina per creare degli oggetti dalle caratteristiche migliori ed evitare che la macchina danneggi lo stesso oggetto che sta realizzando.

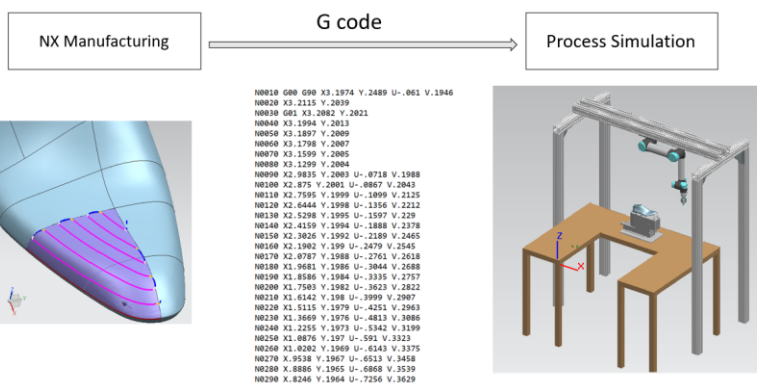


Figura 26: Transizione da NX al robot da programmare.

Come si può notare dalla Figura 30, il percorso qui rappresentato in viola viene, tramite il G-code trasferito al robot che si trova nella stazione di lucidatura con una configurazione iniziale di $[0,0,-90,0,90,0]$ deg.

4.2 Programmazione del robot tramite RoboDK e Teach-Pendant

La programmazione offline per i robot industriali sembra un metodo talmente logico di gestione dei robot industriali che è difficile trovare una ragione sufficiente per farlo in altro modo. La programmazione offline per robot industriali, principalmente sotto forma di software di simulazione di robot industriali, è uno sviluppo relativamente nuovo nella robotica industriale, ma sta guadagnando popolarità negli ultimi anni.

Tuttavia, il software di programmazione offline per robot industriali non è ancora così diffuso come forse ci si aspetterebbe. La maggior parte dei robot è stata programmata utilizzando il metodo Teach Pendant. Un Teach Pendant, noto anche come "teach box", è un dispositivo portatile spesso collegato al robot che ha numerosi pulsanti e uno schermo con cui programmare il

robot, solitamente in loco, che richiede l'isolamento del robot dalla linea di produzione e non fare alcun lavoro.

Senza un software di programmazione offline per robot industriali, i tempi di fermo sono inevitabili.

Questo tempo di inattività può essere chiaramente costoso, anche se il robot è fuori servizio per alcuni minuti, figuriamoci per alcune ore o alcuni giorni. La programmazione offline riduce drasticamente e può persino eliminare la necessità di allontanare il robot dalla cella automatizzata e, quindi, è molto più conveniente. Questa è la teoria. Ma in pratica, le soluzioni di programmazione offline rilasciate finora sono state proibitive per molte aziende.

Una di queste soluzioni di programmazioni offline è rappresentata da RoboDK, un software di simulazione e programmazione offline per robot industriali. RoboDK può generare file SCRIPT e URP che posson essere eseguiti da un robot UR. In aggiunta, è possibile eseguire programmi sul robot da RoboDK se il robot è connesso al computer.

A differenza del metodo Teach Pendant, che tende a concentrarsi su un solo robot alla volta, la programmazione offline fornisce una rappresentazione grafica dell'intero spazio di lavoro, incluso il robot e tutte le macchine e gli strumenti collegati al robot.

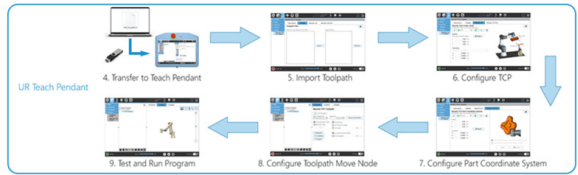
Utilizzando un'app di programmazione offline, un programmatore offline può progettare il sistema su un computer utilizzando una rappresentazione virtuale dell'area

di lavoro e una simulazione del robot. Solo quando il programma è stato finalizzato, sarà necessario installarlo nel robot e nelle sue macchine collegate, riducendo al minimo ed eventualmente eliminando i tempi di fermo.

L'ambiente di simulazione 3D offre molte funzionalità, l'utente può riprodurre un programma e visualizzare ogni aspetto del comportamento del robot, il software genera avvisi quando vengono rilevate singolarità del robot o possibili collisioni, consente all'utente di visualizzare lo spazio di lavoro del robot, ottimizzare i movimenti ed evitare danni. L'utente può scegliere qualsiasi piano di riferimento durante la creazione dei movimenti e può anche avere una panoramica dell'intero processo tecnologico e programmare di conseguenza, una funzione utile quando l'ambiente è più complesso e coinvolge molti elementi interferenti o addirittura più robot.

Nel caso di questo progetto sono stati utilizzati entrambi i metodi poiché inizialmente si è provato a programmare il robot con Teach Pendant ma era necessario poter applicare sui punti il controllo di forza, per questo si è ricorso alla programmazione offline con il software RoboDK che ha trasformato il file NC in file script. Il formato script permetteva di applicare il controllo di forza, così il file script è stato caricato tramite USB.

1. UR Teach Pendant con URCap - USB



2. Software RoboDK

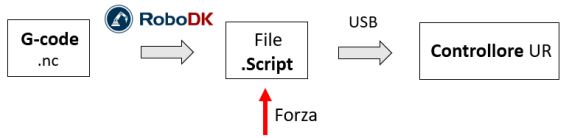
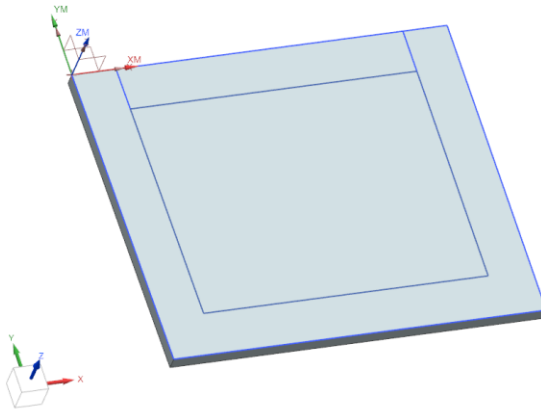


Figura 27: Riassunto programmazione Robot UR

5. PROGETTAZIONE E SPERIMENTAZIONE CELLE

5.1 Progettazione celle di cuoio

Dopo aver descritto il percorso del robot e averlo programmato, sono state progettate tramite il software NX delle celle aventi particolari geometrie a causa dei vari tipi di pelle di diverse misure (forniti dall'azienda) per massimizzare l'area per i test



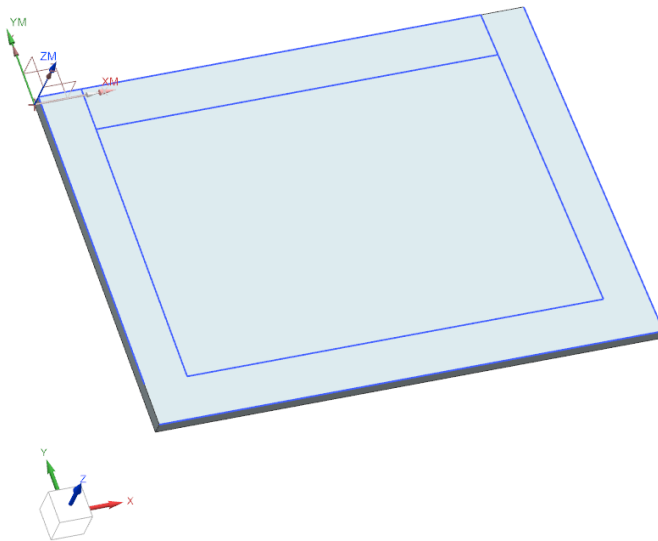


Figura 28: Esempi di celle progettate

L'obiettivo della progettazione di queste celle è quella di testare la distribuzione del lucido da parte del robot durante il passaggio di quest'ultimo sul cuoio della calzatura.

5.2 Definizione del percorso sulle celle

Dopo aver progettato le celle, su di esse è stato definito il percorso con delle caratteristiche ben precise:

- Percorso a Zig-Zag, che permetteva al tool di distribuire in modo più uniforme il lucido,
- Distanza tra le linee di 15mm, per far si che il tool più grande coprisse tutte le zone della cella
- Distanza dai bordi delle celle di 15mm, per far si che il tool più grande coprisse tutte le zone della cella

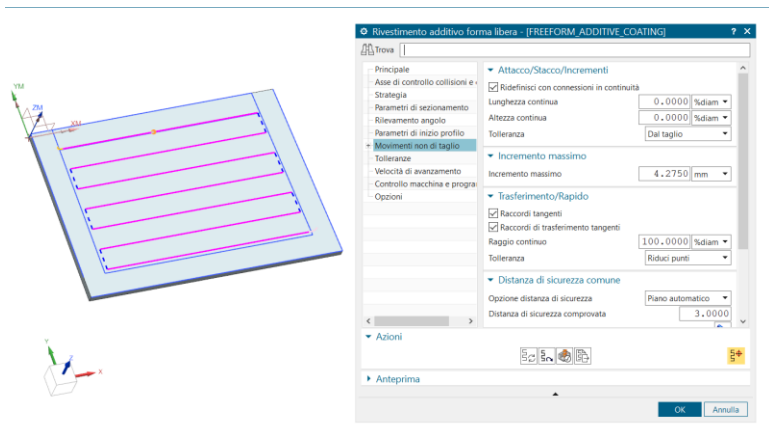


Figura 29: Generazione del percorso e parametri da soddisfare

Su ognuna delle 16 celle si è generato un percorso diverso a seconda della geometria che possedevano.

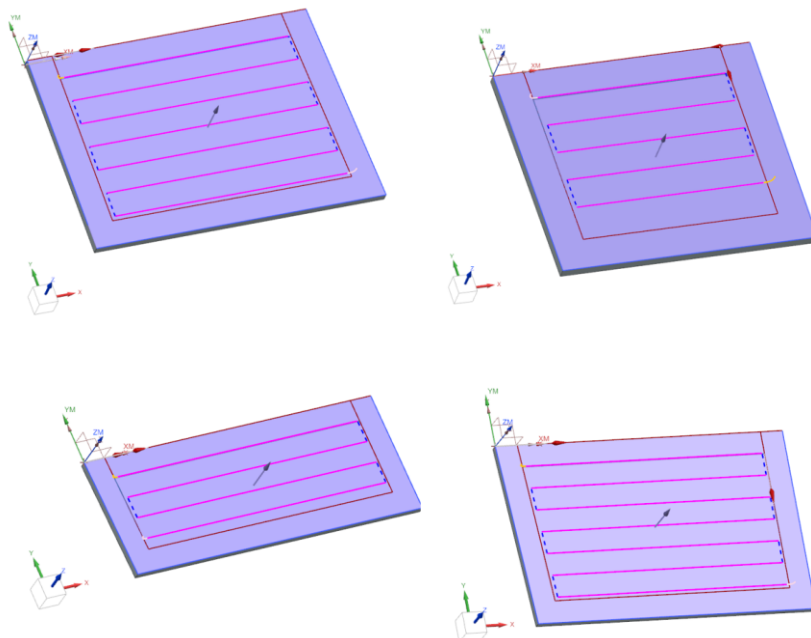


Figura 30: Esempi di percorsi su alcune delle celle progettate

Successivamente è cominciata la fase di sperimentazione, programmando sia il movimento del braccio robotico sia la rotazione del tool che poi andava a distribuire il lucido.

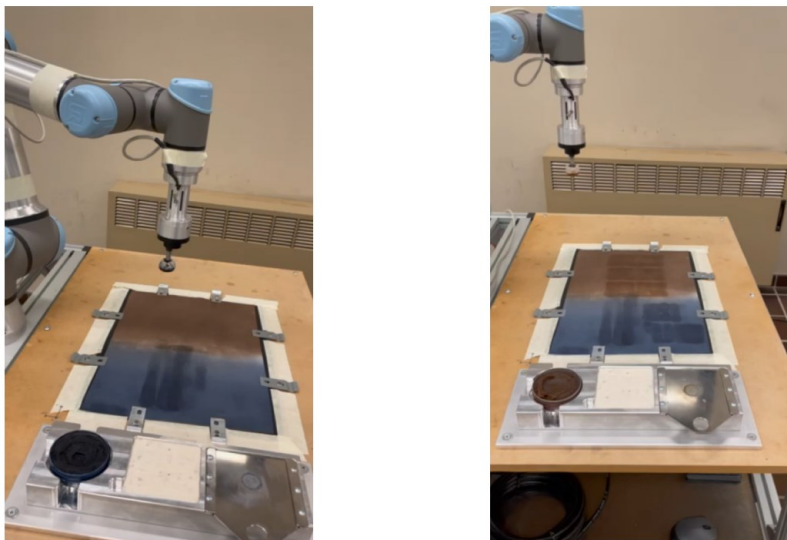


Figura 20: Fase di sperimentazione della distribuzione del lucido

Sono stati programmati due movimenti del robot, per capire quale dei due si prestasse meglio al lavoro da svolgere, il primo consisteva nel tool che prendeva una parte di lucido, lo passava prima sulla placca metallica per distribuirlo correttamente poi cominciava il movimento a forma di zig-zag sopra il pezzo di cuoio.

Il secondo invece, inizialmente era identico al primo poi nelle sessioni di test di è valutata un'altra possibilità, ovvero invece di cominciare la serpentina sul pezzo di cuoio il robot si muoveva avanti e indietro in dei punti specifici cercando di portare più lucido in alcune zone, successivamente cominciava il suo percorso a zig-zag.

Questo secondo movimento si è visto dare risultati migliori in quanto riusciva a distribuire in modo più omogeneo il lucido dando un risultato simile a quello svolto dall'operatore manualmente.

In questo momento si stanno svolgendo diverse sessioni di test variando i principali parametri:

- Forza del robot,
- Velocità del robot,
- Velocità del tool,
- Numero di passate che devono essere eseguite sulla pelle,
- Molle più sensibili.

In particolare, la forza del robot potrà variare perché si ha il comando che permette di scendere con una determinata forza fino ad incontrare la superficie della calzatura.

Una volta che si saranno valutati tutti questi parametri, si cercherà di trovarne la combinazione migliore per poi utilizzarli sulla scarpa stessa.

CONCLUSIONI

Riguardo al tema della collaborazione tra uomo e robot, in questa tesi è stato riportato, anzitutto, il contesto in cui tale modalità operativa si inserisce, assieme a una panoramica generale degli altri obiettivi della quarta rivoluzione industriale. Sempre nell'introduzione è stato riassunto il percorso storico della normativa sul rapporto tra uomo e robot in azienda; inoltre, sono stati analizzati i vari compiti che i robot possono eseguire in aiuto all'uomo.

Successivamente si è studiato il ruolo di un robot all'interno di un'azienda calzaturiera analizzando i vantaggi e gli svantaggi che un robot lucida scarpe possa dare.

Una volta convinti delle potenzialità del progetto si è cominciata la fase di sperimentazione che ancora oggi continua.

Infatti, i prossimi passi saranno quelli di diversificare la forza impressa dal robot durante il passaggio in determinate zone della calzatura e aumentare la velocità del robot durante il prelievo del lucido poiché attualmente il robot risulta troppo lento in questa fase.

Inoltre, si proverà anche a trovare un altro percorso per distribuire in modo migliore il lucido dal momento che i

percorsi analizzati sono tutti sperimentali e non si ha la certezza che siano corretti.

Ad oggi sono ancora in atto le fasi di sperimentazione però si conoscono già le grandi potenzialità del progetto e i grandi benefici che esso potrà portare nell'industria calzaturiera.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

[1] Oberc H., Prinz C., Glogowski P., et al. (2019), Human Robot Interaction – learning how to integrate collaborative robots into manual assembly lines, *Procedia Manufacturing*

[2] Colgate J.E., Wannasuphoprasit W., Peshkin M.A. (1996), Cobots: robots for collaboration with human operators, *Computer Science*.

[3] Vicentini F. (2017), La robotica collaborativa. Sicurezza e flessibilità delle nuove forme di collaborazione uomo-robot, *Tecniche Nuove*

[4] Michael Rübmann, Markus Lorenz, Philipp Gerbert, Manuela Waldner, Jan Justus, Pascal Engel, and Michael Harnisch. *Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries*. Boston Consulting Group

[5] David Romero, Peter Bernus, Ovidiu Noran, Johan Stahre, and Åsa Fast-Berglund. The operator 4.0: Human cyber-physical systems & adaptive automation towards human-automation symbiosis work systems. In *APMS (Advances in Production Management Systems)*, 2016.

[6] https://it.wikipedia.org/wiki/Industria_4.0

[7] <https://www.universal-robots.com/it/i-vantaggi-della-robotica-collaborativa/>

[8] <https://www.focusindustria40.com/robotica-collaborativa/>

[9] <https://www.economyup.it/innovazione/cos-e-l-industria-4-0-e-perche-e-importante-saperla-affrontare/>

[10] <https://www.internet4things.it/industry-4-0/robotica-industriale-cos-come-funziona-e-ambiti-applicativi/>

- [11] https://it.wikipedia.org/wiki/Robot_industriale
- [12] <https://it.wikipedia.org/wiki/Cobot>
- [13] <https://www.plm.automation.siemens.com/global/it/products/nx/>
- [14] [https://it.wikipedia.org/wiki/NX_\(software\)](https://it.wikipedia.org/wiki/NX_(software))
- [15] <https://www.macitynet.it/siemens-disponibile-la-versione-9-del-software-nx/>
- [16] https://it.wikipedia.org/wiki/Codice_G
- [17] <https://www.3dprintingcreative.it/gcode/>
- [18] <https://www.italia3dprint.it/gcode/>
- [19] https://en.wikipedia.org/wiki/Post_processor
- [20] <https://en.wikipedia.org/wiki/RoboDK>
- [21] <https://www.smashingrobotics.com/robodk-industrial-robot-offline-programming-simulation-software/>
- [22] <https://coro.etsmtl.ca/blog/?p=529>
- [23] <https://roboticsandautomationnews.com/2015/07/14/offline-programming-software-robodk-offers-hundreds-of-virtual-industrial-robots-from-top-robotics-companies/540/>
- [24] <https://robodk.com/doc/it/Robots-Universal-Robots.html>

