



UNIVERSITÀ
POLITECNICA
DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA

**Elaborazione di un codice gcode con
software di simulazione NX per
lavorazioni meccaniche**

**Processing of a gcode with NX
simulation software for mechanical
machining**

Candidato:
Matteo Spinelli

Relatore:
Prof. Matteo Claudio Palpacelli

Anno Accademico 2021-2022



UNIVERSITÀ
POLITECNICA
DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA

**Elaborazione di un codice gcode con
software di simulazione NX per
lavorazioni meccaniche**

**Processing of a gcode with NX
simulation software for mechanical
machining**

Candidato:
Matteo Spinelli

Relatore:
Prof. Matteo Claudio Palpacelli

Anno Accademico 2021-2022

UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA
Via Brezze Bianche – 60131 Ancona (AN), Italy

Indice

Introduzione	1
1 Premesse	3
1.1 La robotica collaborativa	3
1.1.1 Interazione uomo-robot	4
1.1.2 Analisi di Mercato	5
1.2 Robot CRX 10-iA/L	7
1.3 Cenni su NX e NX CAM for Manufacturing	9
1.3.1 Programmazione Robotica	10
1.4 La Piattaforma Siemens Xcelerator Academy	11
2 Sviluppo	13
2.1 Modelling	13
2.2 Manufacturing	14
2.2.1 Creare Utensili	14
2.2.2 Creare la Geometria	16
2.2.3 Creare le Operazioni	16
2.3 Machine Tool Builder	19
2.3.1 Catena Cinematica	20
2.3.2 Aggiungere robot in NX Library	27
2.4 Robot Machining	28
2.4.1 Aggiungere robot in CAM setup	29
2.4.2 Robotic Rules	31
2.4.3 Pose	34
2.5 Postprocessing	39
Conclusione	41

Elenco delle figure

1.1	Linea di produzione con robot in gabbia	3
1.2	Cobot Kuka in azione e operatore	4
1.3	Stima divisa per regione di crescita del mercato dei robot collaborativi (USD Million) - MarketsandMarkets	6
1.4	Quote di mercato della robotica collaborativa per produttori - Statzon	6
1.5	Vista laterale Robot FANUC CRX 10-iA/L	7
1.6	Datasheet CRX 10-iA/L	8
1.7	Programmazione Drag&Drop	8
1.8	Post-processing e Machining Simulation in NX CAM	10
1.9	Robot automatizzato nella sua cella di lavoro	10
1.10	Xcelerator Academy	11
2.1	Piastra metallica in NX CAD	14
2.2	Utensile per Pocketing, END_MILL	15
2.3	Utensile per Floor Facing, FACE_MILL	15
2.4	Utensile per Drilling, DRILL	16
2.5	Percorso utensile finitura con End_Mill in movimento	17
2.6	Percorso utensile pocketing	18
2.7	Percorso utensile foratura	19
2.8	Icona Machine Tool Builder	19
2.9	Navigatore Assieme	20
2.10	Coordinate degli assi e coordinate dell'interfaccia meccanica	21
2.11	Machine_Base	21
2.12	Componente J1	22
2.13	Componente J2	23
2.14	Componente J3	23
2.15	Componente J4	24
2.16	Componente J5	24
2.17	Componente J6	24
2.18	Albero cinematico del CRX-10iA/L	25
2.19	Preview Motion	26
2.20	CRX in Machine Library	28
2.21	Initial Setup	30
2.22	Head_45_degree	31
2.23	Configurazioni possibili	32

Elenco delle figure

2.24 Orientamento Utensile	33
2.25 Configurazione dedotta	34
2.26 Rastrelliera portautensili	35
2.27 Posa Tool Change	36
2.28 Posa Intermediate	36
2.29 Frame del CRX 10iA/L durante FLOOR_FACING	38
2.30 Frame del CRX 10iA/L durante POCKETING	38
2.31 Frame del CRX 10iA/L durante DRILLING	39
2.32 Frammento di gcode relativo a FLOOR_FACING	40

Introduzione

L'obiettivo di questo lavoro di tesi è quello di mostrare le potenzialità del software di simulazione NX, in particolare tratteremo **NX CAM** for Manufacturing, applicazione che ci consente di studiare e programmare lavorazioni meccaniche garantendo anche un alto grado di automazione.

Nello specifico andremo a valutare come un robot **CRX 10-iA/L** della Fanuc inserito nell'ambiente di sviluppo NX Manufacturing si interfaccia con pezzi in lavorazione nello stesso ambiente. Infine per ogni operazione che il robot ci consente di fare sul pezzo, ne estrarremo il codice gcode, e cioè un codice che definisce i comandi da impartire ad un dispositivo a controllo numerico (Computer Numeric Control – CNC) in modo da poterlo governare completamente. Per fare ciò è stato preso come riferimento un oggetto “reale”, ovvero un robot collaborativo della Fanuc acquistato dal gruppo di ricerca di Meccanica delle Macchine, attivo presso il DIISM dell'Università Politecnica delle Marche. In questo elaborato, dopo aver dato alcuni cenni preliminari, verranno affrontati nel dettaglio i vari passaggi seguiti nell'impostazione del lavoro, esaminando le caratteristiche principali del software e fornendo anche informazioni di dettaglio che possano aiutare a capire come il programma si approcci alla risoluzione del problema fornitogli e che possano servire magari in futuro a figure professionali che si debbano interfacciare con gli stessi quesiti.

Capitolo 1

Premesse

1.1 La robotica collaborativa

Nel più ampio panorama delle tecnologie abilitanti per l'Industria 4.0, la robotica collaborativa rappresenta una delle soluzioni più interessanti e promettenti per il settore della manifattura avanzata. I robot collaborativi sono robot antropomorfi progettati per rispettare criteri di sicurezza, flessibilità e compattezza e studiati per lavorare a stretto contatto con l'operatore anche senza barriere protettive all'intorno. Una volta programmato risulta uno strumento perfetto per tutte le imprese, riadattando e migliorando il proprio processo produttivo. Grazie ai continui studi sulla robotica, siamo pronti ad affacciarci su un mare di robot che saranno sempre più diffusi sulle linee per alleviare la fatica, ridurre le ore di lavoro e i tempi di esecuzione degli operatori. Tra qualche anno, probabilmente i cobot saranno in grado di pensare da soli e riprogrammarsi in base alle esigenze produttive.[1]



Figura 1.1: Linea di produzione con robot in gabbia

I cobot o robot collaborativi, si sono sviluppati velocemente e con successo. Mentre una decina d'anni fa erano una tecnologia emergente accolta con scetticismo, oggi i cobot rappresentano il segmento della robotica industriale che cresce più rapidamente. Date le ultime entusiasmanti tendenze della ricerca robotica, si prevede un'ulteriore

crescita del loro successo. Durante l'ultimo decennio, in questo campo si sono sviluppate tecnologie davvero sorprendenti, soprattutto per quanto riguarda l'interazione tra robot industriali e forza lavoro umana. Dai dispositivi di sollevamento assistito, costruiti per sollevare pesi in modo sicuro ma privi di movimento autonomo, alla comparsa dei primi cobot dotati di sistemi di visione integrata per evitare gli ostacoli, il campo della robotica collaborativa sembra una fonte inesauribile di nuove opportunità per integrare l'automazione nella fabbrica intelligente. In un'industria sempre più 4.0, la robotica intelligente e collaborativa è diventata essenziale.

1.1.1 Interazione uomo-robot

Con l'espressione "**Industria 4.0**" si fa riferimento alla quarta rivoluzione industriale. Le tre precedenti rivoluzioni hanno avuto origine a distanza di meno di un secolo l'una dall'altra. Ad oggi, l'ultimo passaggio dell'industrializzazione si fonda su un mix tecnologico di automazione, digitalizzazione, connessione e programmazione, la cui conseguenza è un cambio totale dei paradigmi tecnologici e culturali. È a questo che si fa riferimento quando si utilizza l'espressione "Industria 4.0", definita così per la prima volta nel 2011 alla fiera di Hannover, in Germania. Lo sviluppo dell'Industria 4.0 ha favorito la crescita della conoscenza e la diffusione della robotica industriale anche presso le aziende di minori dimensioni. In effetti, con l'ampio sviluppo tecnologico al quale si assiste giorno dopo giorno, i sistemi di automazione all'avanguardia stanno conquistando consensi sia per aumentare l'efficienza nella produzione, sia per sviluppare nuovi percorsi di business.[2]

Per ottimizzare le prestazioni e aumentare la sicurezza durante il processo produttivo, un esempio reale è già implementato in diversi settori dell'industria, è possibile eseguire un monitoraggio in real-time sia dell'uomo che dei cobot attraverso delle reti di sensori installate nelle aree di lavoro condiviso oppure tramite dispositivi abilitati alla fruizione della realtà aumentata. Stiamo parlando di luoghi completamente connessi in cui soluzioni di Internet of Things e Intelligenza Artificiale aiutano la robotica collaborativa ad addestrarsi seguendo le azioni dell'uomo in molteplici modalità produttive.



Figura 1.2: Cobot Kuka in azione e operatore

In un certo senso, anche l'uomo può trarre vantaggio da questa collaborazione. Dal canto suo, l'operatore umano ha capacità cognitive, si occupa dello sviluppo, dell'addestramento, della gestione delle diverse applicazioni, delle delicate manovre di precisione estrema. I robot collaborativi, invece, forniscono all'uomo la possibilità di compiere azioni ultra veloci, maggiore forza, accuratezza con l'aiuto di analisi in real-time di una grande mole di dati da diverse fonti, adeguandosi a nuovi scenari di Situation Awareness.[3]

Particolarmente interessante dal punto di vista dell'interazione tra uomo e robot industriali sono i 4 livelli di collaborazione definiti dalla IFR (International Federation of Robotics):

- Coesistenza: uomo e robot lavorano l'uno di fianco all'altro senza disporre di alcuna gabbia di protezione, ma non condividono direttamente lo stesso spazio di lavoro;
- Collaborazione sequenziale: uomo e robot si trovano nello stesso spazio di lavoro condiviso, ma i loro movimenti sono sequenziali, ovvero non lavorano su uno specifico componente o task allo stesso tempo;
- Cooperazione: uomo e robot operano sullo stesso task o parte allo stesso tempo, con entrambi in movimento;
- Collaborazione reattiva: il robot è sensibile in tempo reale ai movimenti dell'operatore umano.

Oggi nella maggior parte delle applicazioni industriali, il cobot e l'operatore umano condividono lo stesso spazio, ma completano compiti in maniera sequenziale o indipendente; la cooperazione o la collaborazione reattiva sono in genere meno comuni.

1.1.2 Analisi di Mercato

La dimensione del mercato globale dei cobot industriali era di 0,65 miliardi di dollari nel 2018 e le previsioni per il futuro sono molto fiduciose. Secondo MarketsandMarkets (2020) il mercato della robotica collaborativa raggiungerà i 7.972 miliardi di dollari entro il 2026, Figura 4, mentre Chhabra et al. (2020) stimano, ancor più ottimisticamente, che raggiungerà 12,48 miliardi di dollari entro lo stesso anno, aumentando il Tasso Annuo di Crescita Composto (CAGR, Compound Annual Growth Rate) del 44,8% dal 2019 al 2026.

Il mercato dei cobot industriali è segmentato in base all'applicazione, all'utente finale e alla regione. Sulla base dell'applicazione, il mercato è categorizzato in movimentazione dei materiali, manutenzione delle macchine, test/ispezione, lavorazione a

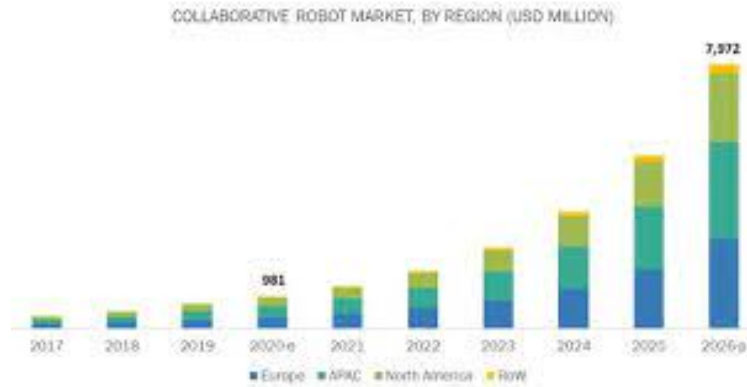


Figura 1.3: Stima divisa per regione di crescita del mercato dei robot collaborativi (USD Million) - MarketsandMarkets

valore aggiunto e trasporto. Gli utenti finali di questi robot collaborativi appartengono ai settori automotive (Müller et al., 2014), elettronica, cibo e bevande (Accorsi et al., 2019), produzione (Dalle Mura Dini, 2019; El Makrini et al., 2017; Tsarouchi et al., 2017), sanità e altri (Landi et al., 2018).

Per quanto riguarda la regione, il mercato è suddiviso in Nord America, Asia-Pacifico e Europa, che continua a guidare il business dei robot collaborativi.

Le principali aziende sul mercato sono Universal Robots (Danimarca), Techman Robot (Taiwan), FANUC (Giappone), KUKA (Germania), Doosan Robotics (Corea del Sud), AUBO Robotics (USA), ABB (Svizzera), YASKAWA (Giappone), Precise Automation (USA), Rethink Robotics (USA). Oltre a queste, Automata (Regno Unito) e Productive Robotics (USA) sono tra le poche aziende emergenti nel mercato dei robot collaborativi (MarketsandMarkets, 2020). [2]

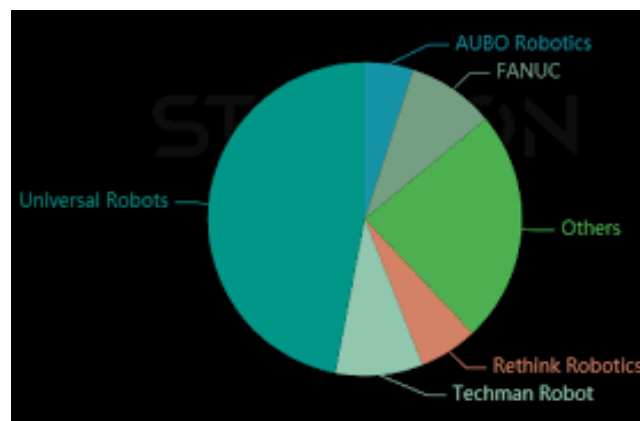


Figura 1.4: Quote di mercato della robotica collaborativa per produttori - Statzon

1.2 Robot CRX 10-iA/L

Come anticipato nell'introduzione, il robot collaborativo oggetto del nostro studio è stato il CRX 10-iA/L, che viene di seguito mostrato, sviluppato dalla casa produttrice FANUC.



Figura 1.5: Vista laterale **Robot FANUC CRX 10-iA/L**

Il modello CRX-10iA/L garantisce una protezione ottimale da polvere o perdite di olio tipiche degli ambienti industriali ed è pienamente conforme agli standard di sicurezza ISO 10218-1. Grazie al suo peso ridotto, il modello CRX può essere facilmente installato in un'ampia gamma di applicazioni, come i veicoli a guida automatica (AGV). Il numero di assi controllati indipendenti è pari a 6, la massima portata di carico è pari a 10 kg e inoltre lo sbraccio massimo (cioè l'area di lavoro entro la quale il robot riesce ad operare) raggiunge i 1418 mm. Altre informazioni fondamentali per l'identificazione del robot, come il peso complessivo (40 kg), le connessioni elettriche necessarie oppure i range di movimento e le velocità massime, che saranno di interesse anche per il nostro progetto, sono contenute nel datasheet sotto riportato. Il braccio del robot può eseguire un movimento di ribaltamento altamente funzionale per prelevare una parte da un tavolo davanti al robot e posizionarla in un tavolo alle sue spalle, in un unico movimento fluido.

CRX-10iA/L																		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Max. load capacity at wrist: 10 kg Max. reach: 1418 mm </div>																		
Controlled axes	Repeatability (mm)	Mechanical weight (kg)	Motion range [°]						Maximum speed [°/s] ^{1,2}									
			J1	J2	J3	J4	J5	J6	J1	J2	J3	J4	J5	J6				
6	± 0.04*	40	360	360	540	360	360	360	120	120	180	180	180	180	1000 ¹	34.8/1.28	26.0/0.90	11.0/0.30

Working range

Motion range of J1 axis rotation center
Motion range of End of Flange
Motion range of J2 axis rotation center
Motion range of J3 axis rotation center
End of Flange
Motion range of J3 axis rotation center

Motion range may be restricted according to the mounting angle!

Robot	CRX-10iA/L
Robot footprint [mm]	190
Mounting position Floor	•
Mounting position Upside down	•
Mounting position Angle ³	•
Controller	R-30iB Plus
Mini Plus	•
Dimensions [mm]	410 x 277 x 370
Tablet TP	•
Electrical connections	
Voltage 50/60Hz 3phase [V]	-
Voltage 50/60Hz 1phase [V]	200-240
Average power consumption [kW]	0.3
Integrated services	
Integrated signals on upper arm In/Out	2/2 ⁴
Integrated air supply	-
Environment	
Acoustic noise level [dB]	<70
Ambient temperature [° C]	0-45
Ambient humidity [%]	< 75 ⁵
Ambient humidity - Short term [%RH]	< 95 ⁵
Vibration acceleration [m/s ²]	≤ 4.9 [0.5G]
Protection	
Body standard/optional	IP67
Wrist & J3 arm standard/optional	IP67

¹ 200mm/s in high speed mode
² During short distance motions, the speed may not reach the maximum value stated.
³ In case of angle mount, motion range needs to be restricted according to the payload.
⁴ RS485 interface included
⁵ No dew nor frost allowed.
⁶ Within one month.

Figura 1.6: Datasheet CRX 10-iA/L

Altre importanti caratteristiche di questo robot sono ad esempio, la funzione di arresto da contatto grazie ai suoi sensori a elevata sensibilità che attivano un arresto di sicurezza immediato in caso di contatto con un corpo umano o la programmazione tramite funzione manuale, o ancora la programmazione Drag&Drop che permette di configurare il robot a mio piacimento in breve tempo.



Figura 1.7: Programmazione Drag&Drop

1.3 Cenni su NX e NX CAM for Manufacturing

Siemens NX è il software che racchiude tutte le caratteristiche di una nuova generazione di soluzioni di progettazione, simulazione e produzione, grazie a strumenti integrati, potenti e flessibili, che consentono di realizzare i prodotti in modo più rapido ed efficiente in ogni fase della progettazione meccanica: dal design del concetto, alla progettazione 2D e 3D, alla fabbricazione. È un software costantemente aggiornato (continuous release): i continui aggiornamenti e i miglioramenti alla piattaforma garantiscono una progettazione fluida e sempre più intuitiva e precisa.

In particolare una delle tante applicazioni di questo software è NX CAM, che fornisce soluzioni software computer-aided manufacturing (CAM) per la programmazione della macchina utensile, ma anche di robot, il post-processing e la simulazione della lavorazione. Le funzioni avanzate del software presenti in ciascun modulo possono massimizzare i ritorni sugli investimenti nell'ultima tecnologia delle macchine utensili. In molti settori, come quello aerospaziale, automobilistico, medicale e della produzione di stampi e macchinari, NX viene utilizzato con successo e garantisce funzionalità collaudate:

- Funzionalità avanzate di programmazione
- Post-processing e simulazione
- Produttività di programmazione
- Automazione della programmazione
- Soluzione integrata

Il software offre una vasta gamma di funzionalità, dalla semplice programmazione NC alla lavorazione ad alta velocità e multi-asse, consentendo di svolgere molte attività con un unico sistema. Grazie alla flessibilità del Software, è possibile completare con semplicità i lavori più impegnativi. Fondamentale per i nostri scopi è la funzionalità che ci consente di disporre di un sistema di post-processing perfettamente integrato che permette di generare facilmente il codice NC necessario per quasi tutti i tipi di configurazione della macchina utensile, di robot e del controller. I vari livelli di validazione del programma NC comprendono la simulazione basata sul codice G, che elimina la necessità di pacchetti di simulazione separati. Il sistema di post-processamento adeguatamente progettato sarà infatti usato per estrarre il geode legato a una data operazione direttamente dal simulatore, senza la necessità di un'implementazione esterna. Questo codice, scritto con linguaggio grafico, è infatti tradotto nell'ambiente in codice eseguibile dal nostro robot.[4]

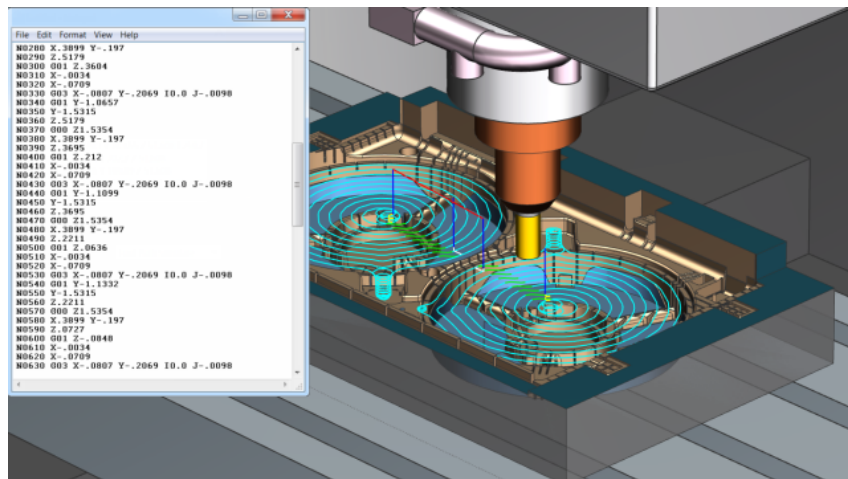


Figura 1.8: Post-processing e Machining Simulation in NX CAM

1.3.1 Programmazione Robotica

La robotica avanzata consente di aumentare la produttività automatizzando le operazioni di lavorazione delle parti, dal grezzo alla parte finita. La lavorazione robotica garantisce una flessibilità superiore, che consente di aumentare notevolmente l'efficienza della fabbrica. NX CAM consente di programmare i robot per la lavorazione di parti di grandi dimensioni e l'automazione delle attività di lavorazione che in genere vengono eseguite manualmente. Questo consente di estendere le capacità di lavorazione, ridurre i tempi di ciclo e migliorare la qualità delle parti. NX consente inoltre di programmare i robot per le operazioni di prelievo e posizionamento, consentendo di pilotare celle di lavoro completamente automatizzate.

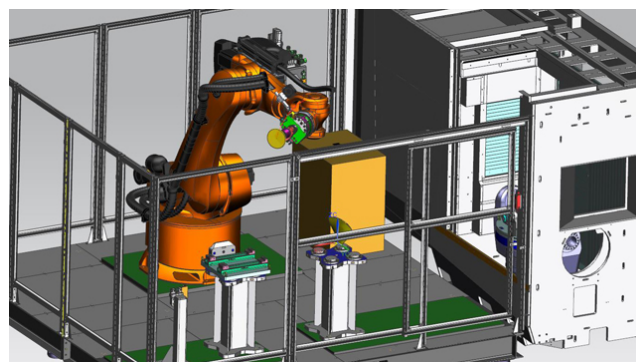


Figura 1.9: Robot automatizzato nella sua cella di lavoro

1.4 La Piattaforma Siemens Xcelerator Academy

Xcelerator Academy (in precedenza “Learning Advantage”) è un portale e-Learning pratico e intuitivo, che consente agli utenti di aumentare la propria conoscenza e le proprie competenze relative ai prodotti Siemens Digital Industries Software. Xcelerator Academy contiene una libreria di corsi on-demand e valutazioni, che vengono aggiornati ogni volta che viene rilasciata una nuova versione del software PLM.I docenti e gli studenti presso i partner accademici di Siemens Digital Industries Software hanno accesso gratuito alle risorse. Infatti accedendo al portale come membro dell’Università Politecnica delle Marche secondo la procedura fornita dal prof. Palpacelli, ho disposto di un Academic Gold Membership che fornisce l’accesso a una vasta libreria di corsi. Dentro questa piattaforma si trova il materiale didattico a cui ho fatto riferimento per gran parte dello sviluppo del progetto e dell’elaborato.



Figura 1.10: Xcelerator Academy

Capitolo 2

Sviluppo

WorkFlow Entriamo adesso nella fase vera e propria di sviluppo del progetto. Con l'utilizzo di NX CAD modelleremo una semplice piastra metallica con una tasca centrale e 4 fori agli angoli. Successivamente entreremo nell'ambiente di Manufacturing e definiremo gli utensili e le operazioni che il robot eseguirà sul pezzo. Infine inseriremo il nostro Robot Fanuc CRX 10-iA/L, opportunamente configurato e definito, nell'ambiente di lavoro e dopo aver indicato le Robotic Rules e le Tool Configuration necessarie, processeremo il gcode di ogni operazione.

2.1 Modelling

Dopo aver scaricato e installato il programma NX, mettiamo in esecuzione NX Manufacturing e nella schermata principale apriamo un nuovo file cliccando sull'icona New in alto a sinistra. Per generare inizialmente il modello solido, scegliamo come ambiente **Model** nell'interfaccia che si apre dopo aver creato un nuovo file; prossimamente sfrutteremo l'ambiente Manufacturing. Il file sarà salvato come workpiece.part. All'interno dell'ambiente di modellazione ricorriamo all'uso degli **sketch** (ovvero gli schizzi) che sono alla base della tecnologia CAD e che permettono, dato un piano, di disegnare curve o profili e di definire relazioni e vincoli. Perciò scelto un piano, disegniamo uno sketch rettangolare, ne imponiamo le dimensioni e lo estrudiamo (Home—>Estrude) verso l'alto per ottenere il blocco principale della nostra piastra. Generiamo poi un altro sketch rettangolare sulla superficie dell'estrusione che sia però contenuto all'interno del primo sketch e rendendo colineari i punti medi dei lati dei due sketch, lo centriamo. Con il comando Fillet(Raccordo) raccordiamo gli spigoli del rettangolo interno e lo selezioniamo per realizzare un'estrusione verso il basso, con la sottrazione booleana attiva, di una profondità pari a circa 2/3 dello spessore della piastra, andando a formare una tasca.

Passiamo ora ai fori in corrispondenza degli angoli. Creiamo un altro sketch rettangolare sulla superficie principale e dopo averlo centrato, con il comando Hole nella finestra Home, selezioniamo gli angoli dello sketch e realizziamo i 4 fori. I fori generati saranno fori semplici con diametro 24.5 secondo lo standard ISO.

Nascondiamo ora le linee di costruzione, attraverso il comando Hide (tasto destro). Abbiamo così completato la definizione del modello solido.

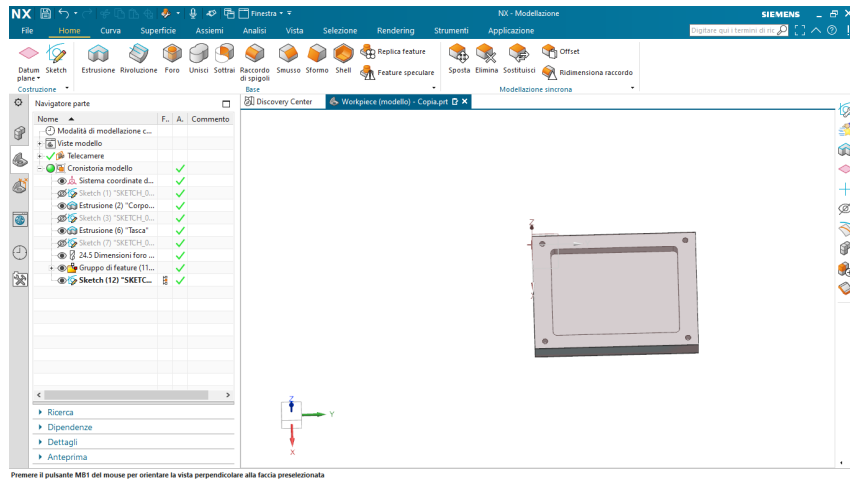


Figura 2.1: Piastra metallica in NX CAD

La scelta di realizzare una struttura come quella indicata in Figura 2.1 è legata al fatto che oggetti semplici come questo sono basilari in ogni campo dell'ingegneria e sono largamente impiegati in vari ambiti. Tuttavia ciò che vedremo in seguito sarà ovviamente estendibile anche a forme più complesse e elaborate.

2.2 Manufacturing

Per passare all'ambiente di Manufacturing all'interno di NX è sufficiente selezionare dalla finestra Application la voce Manufacturing e nella sezione 'Configurazione CAM da creare' manteniamo l'opzione di default, mill_planar. Notiamo subito alcune differenze con l'ambiente di Modelling. Infatti nella barra delle risorse è stato aggiunto un Navigatore Operazioni che ci consente di studiare il problema passando alla Geometry View e soprattutto alla Machine Tool View. Inoltre il sistema di coordinate XYZ avrà ora una M al pedice che sta per Machining. Qui genereremo prima gli utensili necessari, poi indicheremo la geometria e infine creeremo le operazioni.

2.2.1 Creare Utensili

Daremo vita a 3 utensili differenti, uno per realizzare la tasca interna, uno per levigare la superficie superiore e uno per creare i 4 fori agli angoli. Selezioniamo

quindi il comando 'Create Tool' nella finestra Home, nel tipo di utensile indichiamo mill_planar poichè i primi due utensili ci serviranno per operazioni di fresatura prismatica, la locazione invece sarà Generic Machine poichè ancora non abbiamo introdotto alcuna macchina nel nostro ambiente e infine come sottotipo di utensile scegliamo il MILL base. Ora andremo a variare le dimensioni dell'utensile generato in modo da adattarlo al pezzo in lavorazione ottenendo il risultato mostrato nella Figura 2.2.

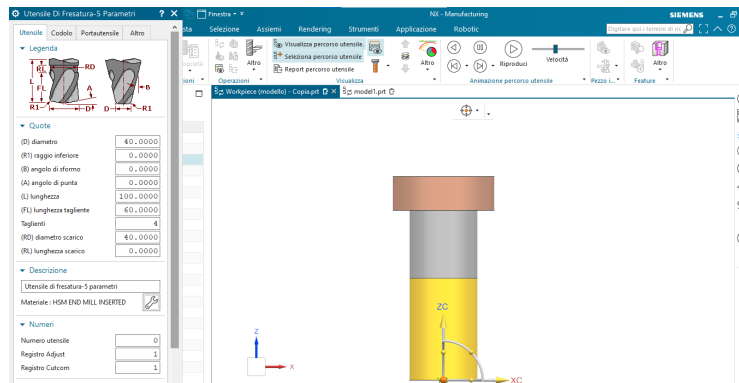


Figura 2.2: Utensile per Pocketing, END_MILL

Nelle lavorazioni per asportazione di truciolo il tagliente è l'intersezione tra la faccia e il fianco principale (che è la superficie adiacente alla faccia e alla superficie in lavorazione) mentre il portautensile è la parte dell'utensile che ne sostiene l'inserto e ne consente l'afferraggio. In questo caso abbiamo scelto un utensile pluritagliente con un numero di taglienti pari a 4 e un portautensile adeguato con angolo di sforno nullo. Quella indicata in giallo in figura è la lunghezza dei taglienti e può essere modificata nella finestra a sinistra. Questa sarà la fresa che useremo per realizzare lo scavo interno.

Con la stessa procedura definiamo anche un'altra fresa che stavolta useremo per la spianatura superficiale della nostra piastra.

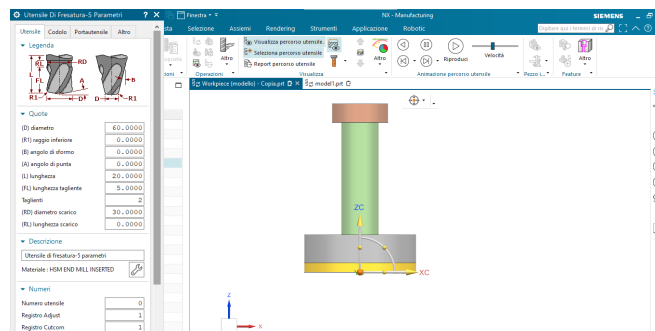


Figura 2.3: Utensile per Floor Facing, FACE_MILL

Capitolo 2 Sviluppo

In questo caso abbiamo optato per 2 taglienti e l'utensile vero e proprio sarà molto più corto del precedente, arrivando ad assumere la forma di un disco (fresa cilindrica). Inoltre è stato anche aggiunto un codolo, in verde (estremità di un utensile che lo fissa al mandrino di una macchina operatrice).

Infine definiamo l'utensile per la foratura. In questo caso il tipo di utensile sarà hole_making e impostiamo un numero di taglienti pari a 2.

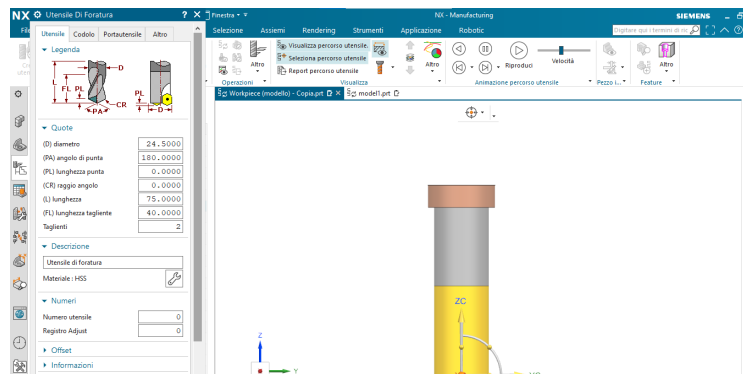


Figura 2.4: Utensile per Drilling, DRILL

2.2.2 Creare la Geometria

Ci concentriamo ora sulla definizione della geometria del pezzo da lavorare. Innanzitutto nella Geometry View modifichiamo quello che è il sistema di riferimento, trasladandolo lungo la direzione Z e ponendolo su un angolo della piastra. Questo sarà il nuovo riferimento assoluto anche per gli utensili. Successivamente clicchiamo sul Workpiece che è stato automaticamente aggiunto dal sistema e come geometria della parte specifichiamo la nostra piastra, mentre come geometria grezza impostiamo un blocco di delimitazione che si estende fino a $Z+=5$ e che delimita un involucro in cui potrà espandersi la geometria finale. Nella finestra Modifica del Workpiece possiamo anche definire il materiale della piastra. Per la vasta gamma di applicazioni che ha e per la resistenza a corrosione offerta in ambienti non troppo aggressivi una buona scelta è uno STAINLESS STEEL martensitico (come AISI 416) che possiamo individuare tra quelli elencati.

2.2.3 Creare le Operazioni

Parliamo adesso di come definire un'operazione. Per generarne una basta cliccare sul comando 'Crea Operazione' in alto a sinistra e automaticamente si aprirà una finestra di dialogo in cui dobbiamo stabilire tipo e sottotipo di operazione e definire altri parametri. Per prima cosa definiamo l'operazione di finitura della faccia principale

(FLOOR_FACING). Perciò come tipo prendiamo mill_planar e come sottotipo 'Sfacciatura fondo senza parete', grazie alla quale realizziamo un'operazione di fresatura per la lavorazione di fondi senza dover selezionare delle pareti. A noi infatti basterà selezionare la geometria di fondo e il materiale da rimuovere sarà determinato dal fondo dell'area di taglio e dal grezzo. Questo sottotipo di operazione è ottimo per la fresatura base di facce planari di parti prismatiche. Sempre nella finestra di dialogo come utensile selezioniamo quello che abbiamo definito ad hoc, e cioè il FACE_MILL (figura 2.3), la geometria sulla quale l'operazione avrà effetto sarà ovviamente il nostro workpiece e infine come metodo scegliamo MILL_FINISH. Questo metodo si adatta meglio a una finitura superficiale poichè modella il pezzo su misura in modo da ridurlo alla forma, alla dimensione e alla rugosità desiderate. Dopo aver confermato le nostre scelte, si aprirà un'ulteriore finestra in cui possiamo aggiungere le informazioni che vogliamo come la velocità di avanzamento, le tolleranze, le distanze di sicurezza o scegliere se inserire un sovrametallo. Qui specifichiamo il fondo dell'area di taglio come la superficie superiore della piastra, impostiamo a zig zag il pattern di taglio e la profondità per ogni passata di taglio pari a 3 mm in modo tale che il ciclo di finitura venga ripetuto 2 volte fino a raggiungere la precisione richiesta. Infine in questa schermata, nella strategia optiamo per il taglio convenzionale, ovvero una fresatura in discordanza in cui la direzione di avanzamento dell'utensile da taglio è opposta alla sua rotazione. Abbiamo definito così la floor_facing ma nella barra Navigatore Operazioni notiamo un bollino rosso e una croce vicino all'operazione. Questo accade perchè dobbiamo ancora generare e verificare il percorso utensile. Con l'operazione selezionata nella finestra Home andiamo a pescare i comandi 'Genera Percorso Utensile' e poi 'Verifica Percorso Utensile' e sulla superficie comparirà in azzurro il nostro percorso che è sotto riportato.

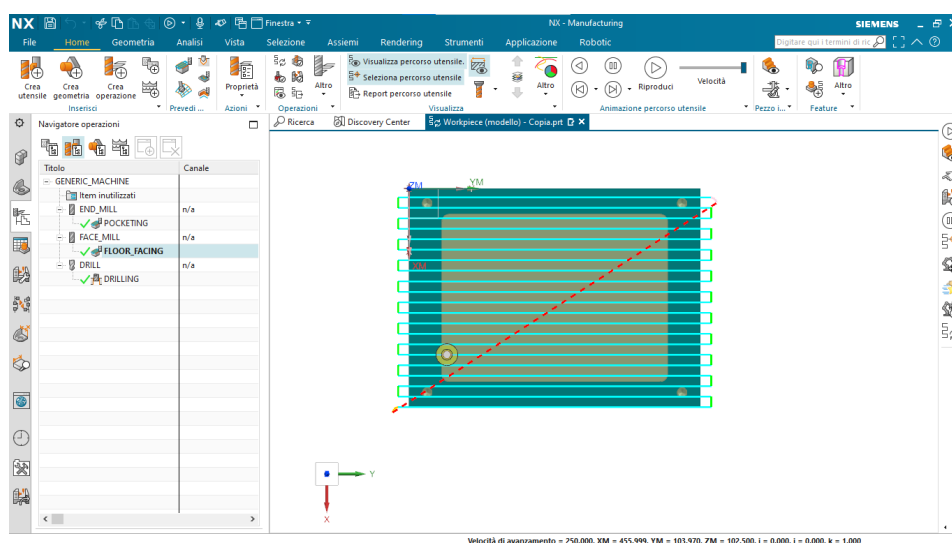


Figura 2.5: Percorso utensile finitura con End_Mill in movimento

Capitolo 2 Sviluppo

Allo stesso modo definiamo una seconda operazione, che ci consentirà di ottenere la tasca centrale (POCKETING). Qui il sottotipo sarà 'Fresatura Tasca' che permette di creare una fresatura per la lavorazione di tasche chiuse con fondo e pareti, perciò dovremmo specificare la geometria di fondo e la parete. In questo caso, essendo lo scavo profondo, ci interessa rimuovere il materiale in maniera piuttosto grossolana senza preoccuparci troppo del grado di precisione superficiale, quindi il metodo di lavorazione più adatto sarà MILL_ROUGH. Successivamente specifichiamo l'incavo fondo dell'area di taglio e ripetendo i passaggi già trattati otteniamo anche il percorso utensile per la pocketing.

Resta ora l'operazione di Foratura (DRILLING). Il tipo sarà hole_making, l'utensile il DRILL (figura 2.4), il sottotipo 'Foratura', il quale permette di selezionare la geometria foro o usare feature foro riconosciute e il metodo di taglio il classico DRILL_METHOD. I metodi di lavorazione possono essere visualizzati e eventualmente variati nella Vista Metodo di Lavorazione nel Navigatore Operazioni. In seguito specifichiamo i 4 fori come la geometria feature su cui avverrà la lavorazione e scegliamo movimenti singoli come output di movimento. Confermiamo, generiamo e verifichiamo il percorso e otteniamo così il risultato desiderato.

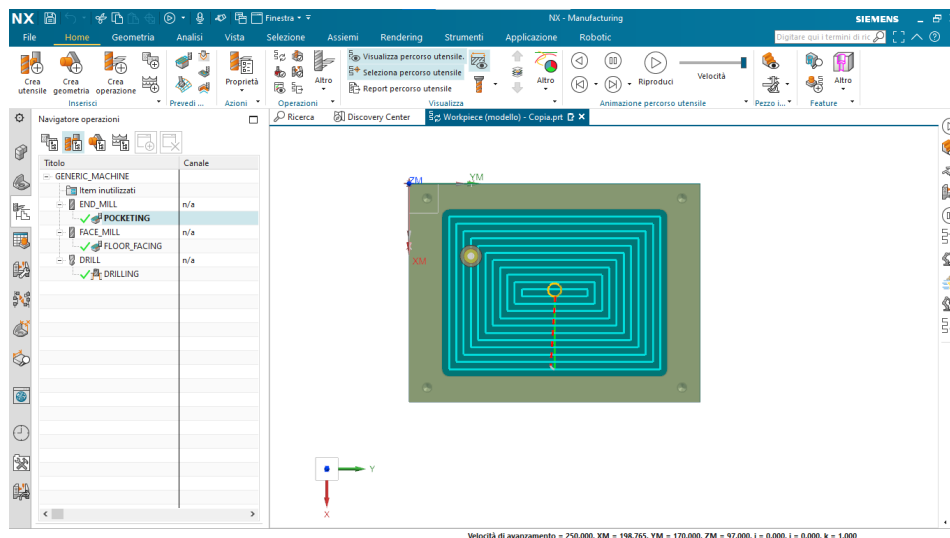


Figura 2.6: Percorso utensile pocketing

Per verificare il nostro operato possiamo andare nella sezione animazione del percorso utensile, mettere in play e accertarci che tutti i moti degli utensili siano corretti.

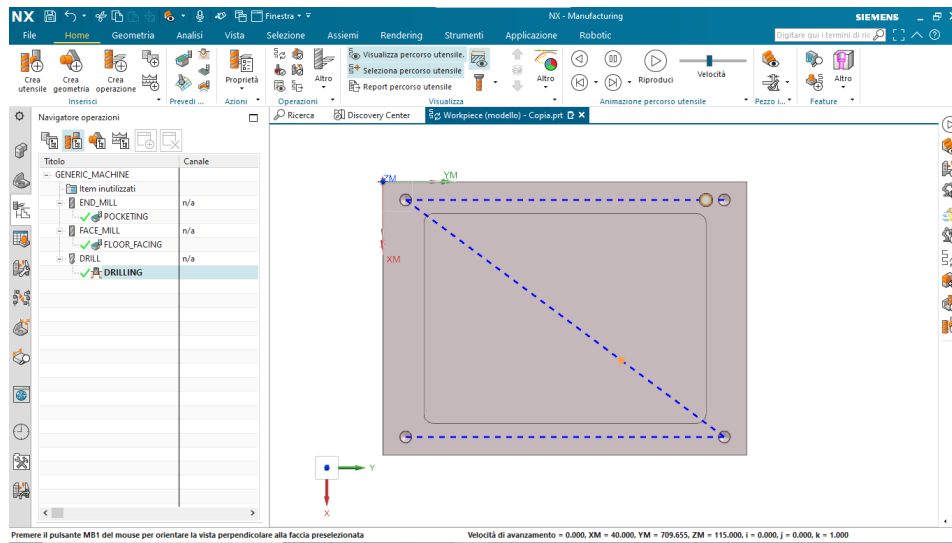


Figura 2.7: Percorso utensile foratura

2.3 Machine Tool Builder

Machine Tool Builder (MTB) è un'applicazione separata in NX che consente di creare un modello cinematico. Supporta macchine utensili come fresatrici da tre a cinque assi, torni, macchine tornitrici e robot a più assi.

Oltre alla creazione del modello dati, l'applicazione MTB consente di modificare la cinematica, la modella e la anima manualmente per il test. Altre applicazioni (Modellazione e Assembli) gestiscono la modifica geometrica dei componenti. Prima di iniziare a creare un modello cinematico per un robot, è necessario disporre già di un modello di assieme di questo robot. La MTB utilizza un albero cinematico per rappresentare il modello cinematico che si sta creando. Questo albero contiene componenti cinematiche (componenti macchina) e mostra le relazioni tra ciascuno di questi componenti. Quando il componente padre viene spostato, ogni componente figlio si muove con esso. Il Navigatore Macchine Utensili, nella barra delle risorse, fornisce uno strumento utile per visualizzare e lavorare con la struttura cinematica ad albero. Nello specifico noi utilizzeremo questo tool per dare la giusta cinematica al robot CRX 10-iA/L. Infatti il robot importato sarà visto dal sistema solo come un modello CAD (un'unica geometria) ma noi con MTB ne andremo a definire i vari componenti, gli assi di rotazione e la catena cinematica complessiva



Figura 2.8: Icona Machine Tool Builder

2.3.1 Catena Cinematica

La procedura che seguiremo in questa fase si può ricercare facilmente nella piattaforma Xcelerator Academy ,introdotta sopra, nella sezione 'Lavorazione Robotica' di NX CAM. Inoltre, essendo la struttura cinematica ad albero dei robot simile a quella delle macchine utensili, il procedimento per definire la cinematica è lo stesso per entrambi. Come precedentemente detto, l'approccio e lo studio delle potenzialità offerte dalla piattaforma si è basato su un prodotto di interesse "reale", ovvero sul modello CRX-10iA/L della FANUC. Quindi per prima cosa è stato necessario scaricare dal portale della casa costruttrice il modello CAD, esibito in formato STEP. Entriamo in NX CAM e sulla sezione File in alto a sinistra apriamo il file di assieme del nostro robot in formato .step. Il programma convertirà automaticamente tutti i file parte nel formato proprio di NX e se nella barra delle risorse selezioniamo il Navigatore Assieme, vedremo il file padre e sotto tutti i file parte che puntano ai vari costituenti del robot. Il nuovo assieme è stato generato.

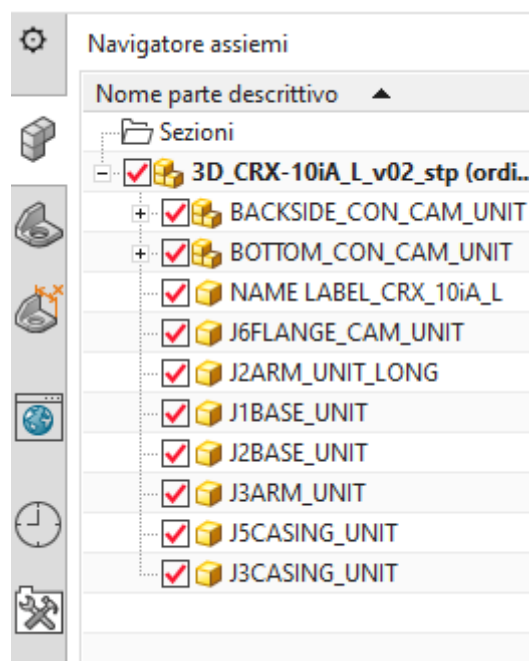


Figura 2.9: Navigatore Assieme

Ci spostiamo adesso nel Machine Tool Builder, andando nella sezione Application e nella parte dedicata ai software di Produzione clicchiamo sull'icona del MTB riportata in Figura 2.8.

Per definire la cinematica dobbiamo prima specificare la **geometria dei componenti**, le **giunzioni** e gli **assi di rotazione**. Prendiamo le informazioni necessarie come la posizione dei giunti e i versi di rotazione dei componenti dalla scheda tecnica del robot.

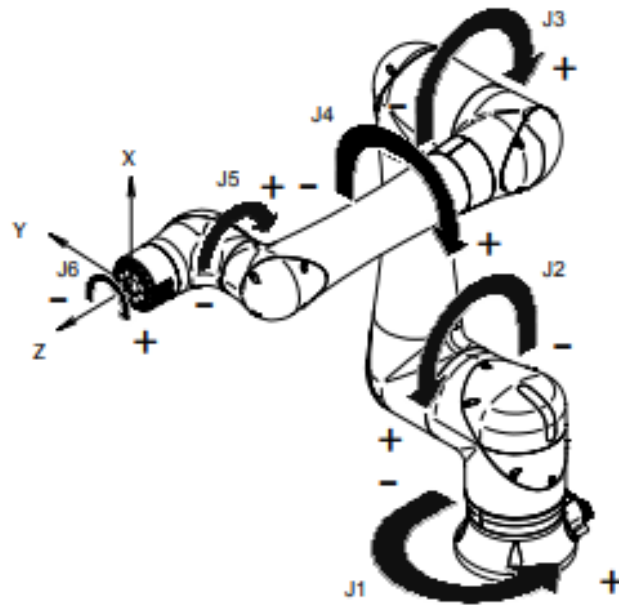


Figura 2.10: Coordinate degli assi e coordinate dell'interfaccia meccanica

Prima però dalla piattaforma Xcelerator, nel corso che esplica l'intero processo e che è stato sopra richiamato, scarichiamo il file zip **'parts_manufacturing_robotmach'** e da questo apriamo il file denominato 'robot_standard_template' che mi fornisce appunto un template in cui la struttura cinematica ad albero per robot è già predefinita. Nominiamo questo template con il nome del nostro robot e così lo salviamo nella cartella che racchiude tutti i file parte del CRX 10-iA/L. Questo sarà il file principale all'interno del quale lavoreremo. Al suo interno nella sezione Assiemi, inseriamo un nuovo componente e carichiamo il robot con tutti i vari componenti. Adesso nella schermata Navigatore Macchina Utensile vedo la struttura ad albero con 6 assi associata al nostro dispositivo di interesse e qui con un doppio click su 'Machine_Base' vado a definire la base stazionaria del robot, ovvero il componente che regge l'intera struttura. Selezioniamo come tale, il basamento nero con le viti di fissaggio e la piattaforma che li sostiene come qui riportato.

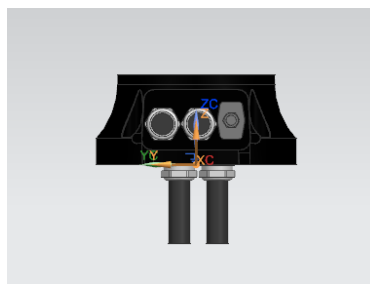


Figura 2.11: Machine_Base

Inoltre definisco anche un sistema di coordinate per il basamento che coinciderà con quello assoluto e che identifica la posizione della sua **giunzione**. Una giunzione è un sistema di coordinate classificato e denominato (CSYS) definito rispetto al sistema di coordinate assolute della parte del modello. Ogni giunzione è associata a un componente macchina. Quando si crea un componente macchina, NX assegna un valore predefinito giunzione al componente. NX utilizza le giunzioni per eseguire le operazioni seguenti:

- Montare automaticamente la parte nell'applicazione di fabbricazione
- Montare automaticamente strumenti o dispositivi
- Definire gli assi NC
- Trasformare le coordinate

La giunzione del componente Machine_Base sarà del tipo Machine_Zero, che identifica un sistema di coordinate indipendente dalla parte e che definisce la macchina sistema di coordinate dell'utensile (MTCS). Ogni macchina deve avere una giunzione zero definita sul modello.[5]

In maniera speculare al componente base, e cioè con un doppio click sul nome nel Navigatore Macchina Utensile, individuiamo i restanti componenti, da J1 fino a J6, e per ciascuno definiamo anche una corrispettiva giunzione. Queste saranno fondamentali quando inseriremo gli assi poichè intorno ad esse i componenti svilupperanno il moto rotatorio ed è quindi importante collocarle correttamente. Per non rendere la trattazione troppo tediosa e descrittiva si rimanda l'individuazione dei gruppi di corpi robotici che vanno a formare ogni componente alle immagini sottostanti.

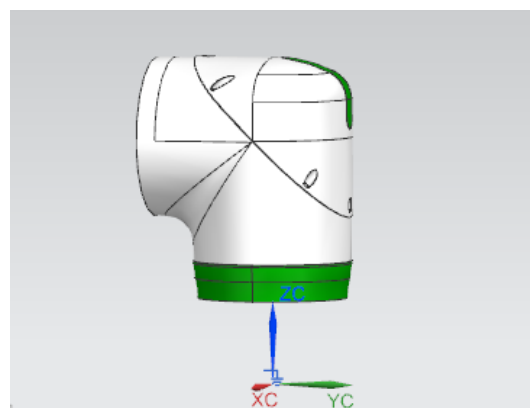


Figura 2.12: Componente J1

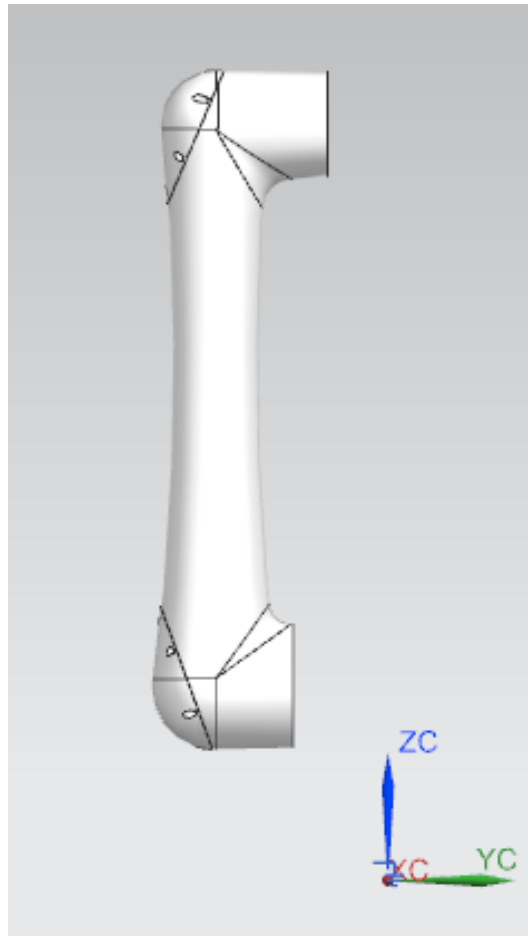


Figura 2.13: Componente J2

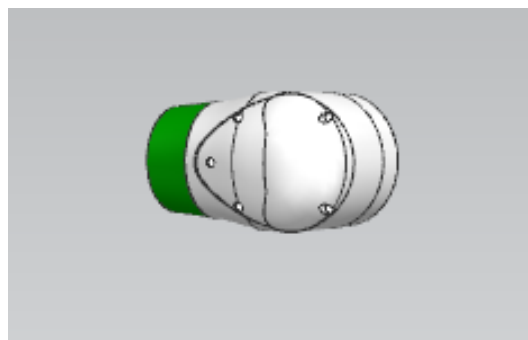


Figura 2.14: Componente J3

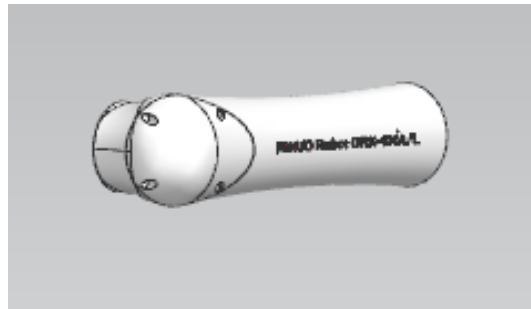


Figura 2.15: Componente J4

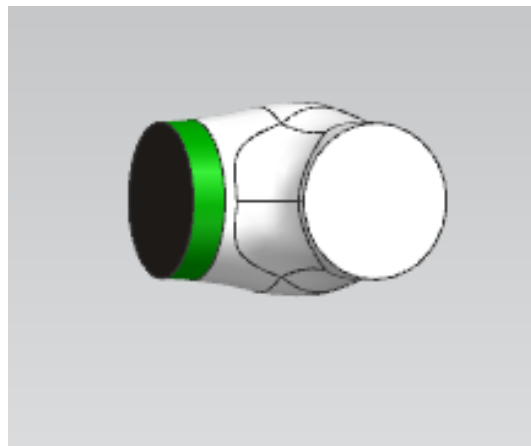


Figura 2.16: Componente J5

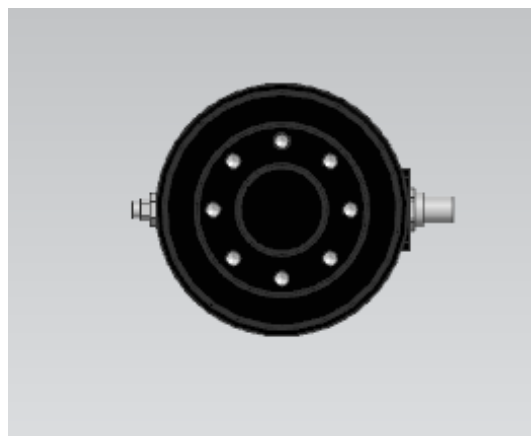


Figura 2.17: Componente J6

Ai piedi dell'albero cinematico, in J6, troviamo un componente che nel template di default è stato denominato POCKET e che si classifica come `_DYNAMIC HOLDER`. Si usa questa classificazione per identificare dove NX può montare dinamicamente utensili in un mandrino durante la simulazione. Nella maggior parte dei casi, ciò avviene quando si dispone di un mandrino portautensili che include tutti gli strumenti all'interno della configurazione CAM. Durante una simulazione, il montato viene visualizzato solo quando NX lo monta da una pocket diversa o lo genera per la simulazione. La nostra pocket non è individuata da alcuna geometria ma solo da un sistema di riferimento che fa capire al programma come orientare l'utensile. Notiamo anche un altro componente, sotto J1, denominato PART che è classificato in 2 modi:

- `_PART` : in questo modo viene identificata la parte di progettazione per il controllo delle collisioni. Il controllo delle collisioni può quindi indicare specificamente che la parte è scavata e può distinguere queste collisioni da quelle dell'utensile con altri componenti della macchina.
- `_SETUP_ELEMENT` : crea un segnaposto per i componenti futuri da montare sul robot. Aggiungendo una giunzione all'elemento di setup e creando una corrispondente giunzione nel componente da posizionare, il software sa come orientare il componente che sostituisce l'elemento di setup.[5]

Nome	Classificazione	Giunzioni	Nome asse	Valore inizi...	Asse NC	Catene
CRX_10_JAL						
└─ MACHINE_BASE	_MACHINE_BASE	MACHINE_ZERO_JUNCTION*				
└─ J1		J1_JCT	J1	0		CHAIN_CRX
└─ J2		J2_JCT	J2	0		CHAIN_CRX
└─ J3		J3_JCT	J3	0		CHAIN_CRX
└─ J4		J4_JCT	J4	0		CHAIN_CRX
└─ J5		J5_JCT	J5	0		CHAIN_CRX
└─ J6		J6_JCT	J6	0		CHAIN_CRX
└─ POCK...	_DYNAMIC HOLDER	POCKET_JCT				CHAIN_CRX
└─ PART	_PART_SETUP_ELEMENT					CHAIN_CRX

Figura 2.18: Albero cinematico del CRX-10iA/L

Assi L'ultimo passo nell'identificazione cinematica del modello è la determinazione degli assi di rotazione di ogni componente. Per assegnare il movimento a un componente macchina, è necessario definire un asse della giunzione del componente. Qualsiasi movimento viene eseguito lungo o attorno a questo asse. Se un componente macchina si sposta, tutti i componenti macchina sotto di esso nella gerarchia si muoveranno. Inoltre i versi di rotazione dipendono da come sono state definite le giunzioni.

Quindi clicchiamo con il tasto destro sul componente J1 e selezioniamo 'Inserisci Asse'. Nella finestra di dialogo successiva, gestisco le impostazioni in modo da far sì che J1 ruoti in verso positivo attorno all'asse Z della sua giunzione. Anche i range di movimento e i limiti di velocità vanno specificati qui e noi facciamo riferimento alle

informazioni contenute nella scheda tecnica del robot CRX riportata in Figura 1.6. Nella sezione 'Anteprima Movimento' possiamo verificare che il moto del componente sia quello desiderato, mettendo in play la simulazione. J2 invece, girerà attorno alla parte negativa dell'asse Y della sua giunzione, J3 sempre attorno ad Y ma alla parte positiva, J4 ruota attorno all'asse X mentre J5 intorno a Y positivo. Infine il mandrino J6 si muoverà attorno a X positivo.

Quando tutti gli assi sono stati creati, possiamo generare la catena cinematica e testare gli assi della macchina. Sul Navigatore Macchina Utensile, clicchiamo il nome del robot con il tasto destro e selezioniamo 'Definisci catene cinematiche'. Se tutto è stato fatto correttamente il software capisce da solo che si tratta di un robot e crea la catena (CHAIN_CRX). Testiamo, infine, il comportamento dei singoli assi cliccando con il tasto destro sullo sfondo del Navigatore Macchina Utensile, selezioniamo 'Anteprima Movimento' e poi 'Mostra Posizione Assi Macchina' e appariranno dei cursori che consentono di muovere tutti gli assi definiti per valutarne il moto.

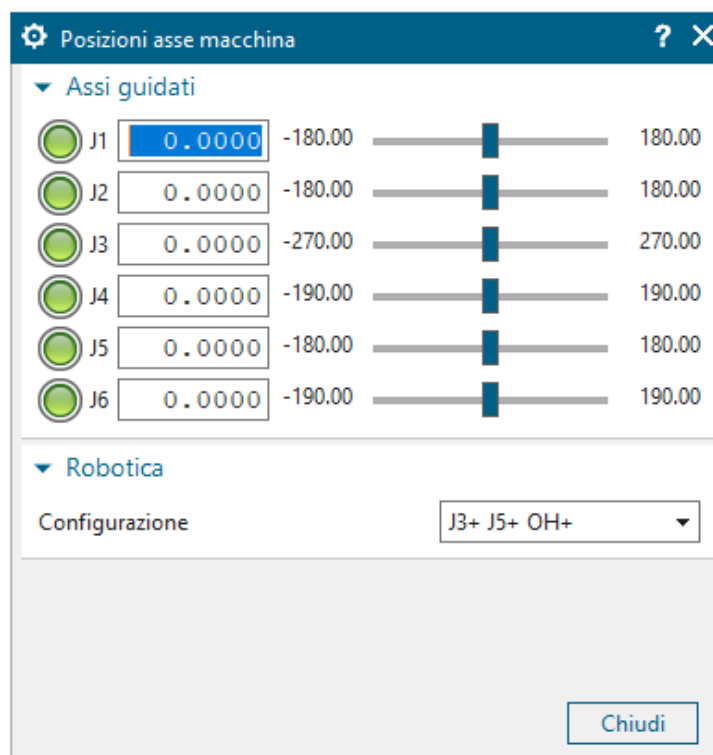


Figura 2.19: Preview Motion

Se il pallino accanto al nome dell'asse fosse blu e non verde, allora saremmo di fronte a una configurazione singolare di quell'asse. Questa sarebbe una situazione molto problematica per la meccanica del mio robot e si può risolvere tramite l'adeguato uso delle Pose e delle Robotic Configuration che vedremo in seguito.

2.3.2 Aggiungere robot in NX Library

Per poter effettivamente utilizzare il robot da noi configurato all'interno di NX, dobbiamo inserirlo nella Machine Tool Library. Il modo più semplice per gestire la libreria delle macchine utensili sta nell'usare la finestra di dialogo 'Libreria macchine utensili' nell'applicazione Machine Tool Builder. Prima però alcuni passaggi preliminari. Innanzitutto andiamo nel file manager, apriamo la cartella in cui la variabile d'ambiente $\{\text{UGII_CAM_LIBRARY_INSTALLED_MACHINES_DIR}\}$ punta, ovvero `MACH\resource\library\machine\installed_machines` e copiamo la cartella del robot `ABB_IRB_6640_235_255`. La struttura dei file di ogni macchina ha le seguenti cartelle:

- Una cartella **graphics** per l'assieme del modello macchina e i file dei componenti.
- Una cartella **cse_driver** che contiene file CSE. Ha sottocartelle per i driver Fanuc, Heidenhain TNC e Sinumerik (Siemens). Ogni sottocartella del controller contiene i file del driver (. CCF. MCF, ecc.) e una cartella subprog. Tutti i cicli e i sottoprogrammi devono essere posti nell'apposita cartella subprog.
- Una cartella **postprocessor**. Anche questa ha sottocartelle separate Fanuc, Sinumerik e Heidenhain TNC.[5]

Incolliamo nello stesso luogo la cartella copiata con tutta questa struttura e la rinominiamo CRX-10iA/L. Nella sottocartella graphics inseriamo il modello d'assieme del CRX che abbiamo costruito e i file parte e cancelliamo quelli dell'ABB_IRB. Tra i file nella cartella copiata ce ne è uno di tipo .dat, cioè un file di database che controlla la disponibilità degli oggetti nelle librerie CAM e per fare in modo che punti al nostro modello di robot dovremmo rinominare anche questo e modificarlo con un text editor al cui interno non dobbiamo far altro che sostituire il robot ABB_IRB con il nostro. Successivamente editiamo anche il file DEF del postprocessore che contiene un'istruzione INCLUDE che punta al file CDL nella cartella robots del robot. Il post funzionerà finché la cartella copiata sarà nella libreria, ma per la portabilità e la futura personalizzazione delle regole, conviene modificare il post in modo che punti al file CDL del nostro robot. Ora possiamo accedere alla Libreria Macchine Utensili e con la casella dell'ABB_IRB evidenziata, aggiungiamo una nuova voce macchina che subito chiameremo CRX 10iA/L. Tuttavia per fare ciò dobbiamo accertarci che le cartelle relative alla Library siano tutte accessibili in scrittura altrimenti il programma non ci farà cliccare sull'icona per aggiungere la voce macchina. Infine, sulla riga del CRX , nella colonna config_file mettiamo il file .dat che abbiamo editato mentre nella colonna part_file_path aggiungiamo il modello di assieme del robot contenuto nella sottocartella graphics. Ora il dispositivo di studio è a tutti gli effetti disponibile ed operativo.

libref	Type	Description	Control	Manufacturer	config_file	rigidity	part_file_path
Null Machine	MDM0901	Null Machine	None	-	\$(UGII_CAM_POST_DIR)...	1.000000	
ABB_IRB_6640_235_255	MDM0401	6-Ax robot with positioner	ABB RAPID	ABB	\$(UGII_CAM_LIBRARY_IN...	1.000000	\$(UGII_CAM_LIBRARY_IN...
CRX_10_IAL	MDM0401	6-Ax robot	FANUC RJ	FANUC	\$(UGII_CAM_LIBRARY_IN...	1.000000	\$(UGII_CAM_LIBRARY_IN...
ABB_IRB_6640_235_255...	MDM0401	6-Ax robot, mounted wo...	ABB RAPID	ABB	\$(UGII_CAM_LIBRARY_IN...	1.000000	\$(UGII_CAM_LIBRARY_IN...
ABB_IRB_7600_23_500_on...	MDM0401	6-Ax robot on rail	ABB RAPID	ABB	\$(UGII_CAM_LIBRARY_IN...	1.000000	\$(UGII_CAM_LIBRARY_IN...
kuka_kr300_r2500	MDM0401	6-Ax robot	KUKA SINUMERIK	KUKA	\$(UGII_CAM_LIBRARY_IN...	1.000000	\$(UGII_CAM_LIBRARY_IN...
kuka_kr300_r2500_on_rail	MDM0401	6-Ax robot on rail	KUKA KRL	KUKA	\$(UGII_CAM_LIBRARY_IN...	1.000000	\$(UGII_CAM_LIBRARY_IN...

Figura 2.20: CRX in Machine Library

2.4 Robot Machining

La nuova versione del software NX di Siemens integra l'ultima generazione di strumenti per l'additive manufacturing, lavorazioni a controllo numerico (CNC), robotica e controllo di qualità per favorire la digitalizzazione della produzione di pezzi all'interno di un unico sistema completo e integrato. Funzionalità di automazione avanzate per il CAM, fra le quali programmazione di robot, fresatura adattiva e progettazione di attrezzature, mettono a disposizione tecnologie innovative per settori specifici grazie alle quali le aziende possono portare sul mercato prodotti di alta qualità in tempi più rapidi. Queste aziende sono soggette a pressioni sempre maggiori generate dalla continua evoluzione delle aspettative del mercato, con clienti che chiedono sempre più precisione e tempi di risposta rapidi. Per restare competitivi, molti produttori guardano alla digitalizzazione per collegare tutte le fasi del processo di pianificazione e produzione dei pezzi a un'unica fonte di informazioni, realizzando il cosiddetto "digital thread". Implementando una strategia digitale, aziende manifatturiere di tutte le dimensioni possono sfruttare meglio i vantaggi dell'automazione, adottare la stampa 3D in produzione e, in ultima analisi, accedere a nuove opportunità di mercato e ridurre i tempi di consegna. Le migliorie nell'ambito dell'automazione introdotte dalla nuova versione di NX consentono di aumentare l'efficienza in produzione e ridurre i costi. La tecnologia di programmazione robotica offre la capacità di automatizzare intere celle di lavorazione, inclusa la programmazione dei robot per eseguire lavorazioni meccaniche e pick-and-place. Le funzioni di programmazione robotica di NX CAM ampliano la gamma di lavorazioni in fabbrica, consentendo la lavorazione precisa di parti complesse e di grandi dimensioni con robot a sei assi e oltre. È così possibile automatizzare operazioni manuali quali lucidatura e sbavatura, aumentando la ripetibilità per una migliore qualità dei pezzi. Inoltre, la funzionalità avanzata di riconoscimento delle feature automatizza la programmazione a controllo numerico di parti con numerosi fori, riducendo i tempi di programmazione anche del 60 percento.[6]

Il workflow per eseguire una lavorazione robotica prevede le seguenti fasi:

1. Generare le operazioni di lavorazione in NX come con qualsiasi altra operazione di fresatura. A questo abbiamo già pensato nella sezione Manufacturing.

2. Aggiungere il robot alla configurazione CAM come con qualsiasi altra macchina utensile.
3. Applicare e modificare le Robotic Rules.
4. Simulare il percorso utensile del robot.
5. Identificare e risolvere i problemi, se riscontrati nella simulazione.
6. Postprocessamento.

2.4.1 Aggiungere robot in CAM setup

Prima di tutto dobbiamo attivare i comandi per la Lavorazione Robotica andando nel menù a tendina nell'angolo destro della barra Home in Manufacturing e da questo selezioniamo il gruppo di comandi Robot Machining. In esso troviamo i seguenti comandi:

- Robot Control: modifica le regole e le posture del robot.
- Modify Robotic Rules: aggiunge o modifica quali eventi definiti dall'utente specificano le regole di lavorazione robotica.
- Apply Robotic Rules : esegue uno script per l'applicazione delle regole di lavorazione robotica al percorso utensile.

Ora inseriamo il CRX nello stesso ambiente di lavoro della piastra definita all'inizio. Apriamo il nostro file workpiece.part in cui abbiamo salvato i dati della piastra e nel Navigatore Operazioni facciamo doppio click su 'Generic Machine'. Qui tra le opzioni scegliamo di caricare una macchina dalla libreria e ricerchiamo tra le macchine ROBOT il nostro CRX 10iA/L. Lo collochiamo in modo da far sì che l'origine del suo riferimento sia a una distanza dall'origine del sistema assoluto pari ad almeno una volta e mezzo la larghezza della piastra. Scegliamo una tale distanza solo per visualizzare meglio il problema ma la potremo modificare in seguito andando su 'Muovi Componente' nella barra 'Assiemi'. Centriamo poi il robot al centro del pezzo, chiudiamo le varie finestre di informazioni che si sono aperte e clicchiamo OK.



Figura 2.21: Initial Setup

Il passaggio successivo consiste nel definire un portautensile in cui entreranno tutti i nostri tool. Sempre nel Navigatore Operazioni, clicchiamo sulla tasca del robot a 6 assi e con il tasto destro inseriamo un utensile. Ne carichiamo uno dalla libreria e ricerchiamo tra la classe 'Testa'. È possibile posizionare sotto una testa soltanto tasche o utensili e si può specificare una testa angolare selezionando l'asse della testa con un vettore. Il vettore indica le coordinate lineari e di rotazione per la macchina utensile. L'oggetto testa non modificherà l'asse dell'utensile o i punti GoTo nell'operazione. Tra le varie alternative optiamo per l'Head_45_degree, lo selezioniamo e usciamo dalla finestra di dialogo. Se adesso visualizziamo questa testa portautensile vediamo che appare capovolta rispetto al mandrino del robot e c'è anche compenetrazione. Per risolvere il problema andiamo nel Navigatore macchina utensile e nell'albero cinematico modifichiamo il sistema di coordinate della POCKET per renderlo coincidente con quello della testa. Dobbiamo infatti ruotare il sistema in modo da avere l'asse z uscente dalla superficie e l'asse x rivolto verso il basso. Possiamo ora trascinare tutti e tre gli utensili che abbiamo creato sotto all'head_45_degree nel Navigatore Operazioni, pronti per lavorare sulla parte.

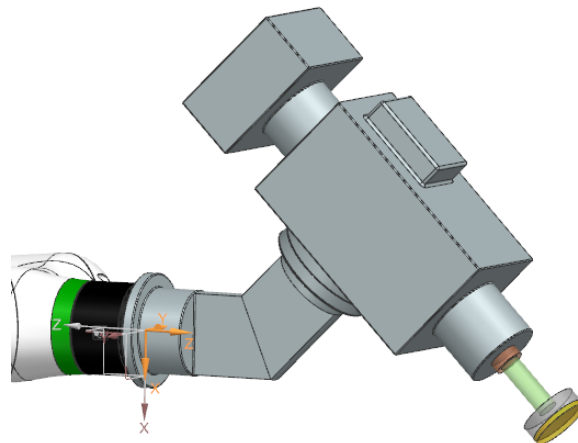


Figura 2.22: Head_45_degree

2.4.2 Robotic Rules

Sono regole che aiutano a controllare il robot. Ad esempio, consentono di orientare lo strumento o definire una posa. NX fornisce una serie di regole e un campione che si può adattare e modificare. Il software implementa le regole come eventi definiti dall'utente e le applica come eventi di start. Il meccanismo per definire e applicare nuove regole è personalizzabile e si basa sul codice Python open source. Possiamo aggiungere nuove regole, che non rientrano tra quelle già disponibili, per implementare le conoscenze dell'azienda. Prima di mandare in output il percorso al robot, è necessario definire e applicare queste regole robotiche. Per le regole più comuni, si usa la finestra di dialogo **'Robot Control'**. Se spuntiamo la casella **'Esegui robotic rules all'OK e Applica'** le regole saranno applicate automaticamente dopo la conferma. La finestra di **'Robot Control'**, nella parte alta, ci permette di spostare il robot rispetto alla configurazione di partenza in diversi modi, come ad esempio variando l'inclinazione dei vari giunti, ponendo l'utensile in un punto a scelta del tool path oppure con dei cursori che muovono gli assi dei componenti all'interno dei rispettivi range. I problemi relativi alla meccanica del robot ci vengono segnalati proprio nella sezione **'Assi Guidati'**, dove possiamo spostare gli assi con i cursori. Infatti se il pallino relativo ad un asse è verde, significa che ci stiamo muovendo correttamente all'interno del suo range motion, se però è blu, significa che siamo in un intorno di 5 gradi dalla singolarità, se invece il colore è rosso significa che il robot per arrivare a quel punto del percorso utensile ha violato i suoi limiti di movimento e quindi un tale configurazione non è realizzabile (siamo in **Overtravel**). Per risolvere problemi di singolarità possiamo variare la posizione del giunto coinvolto, definire una nuova posa col giunto posto correttamente e far sì che durante la simulazione il robot la assuma. Se scendiamo più in basso abbiamo la parte dedicata alla Configurazione Robotica. Un robot può assumere qualsiasi configurazione per la simulazione e la configurazione può cambiare all'interno di essa. Esistono, in teoria, 8 modi diversi

in cui un robot a 6 assi può posizionare un utensile nello stesso punto. I produttori potrebbero non supportare tutte le configurazioni, quindi in pratica sono spesso disponibili meno di 8 opzioni. A volte è utile limitare l'intervallo di movimento dei tre assi per evitare configurazioni scomode o altrimenti indesiderabili. Nel nostro caso i modi supportati sono 6 e interessano la disposizione dei giunti **J3, J5** e **OH**, Overhead (ovvero J1). Il robot può infatti assumere combinazioni di angoli positivi o negativi per questi tre giunti e sta a noi scegliere quella che conferisce al dispositivo maggiore stabilità.

J3+ J5+ OH+
J3+ J5- OH+
J3- J5+ OH+
J3- J5- OH+
J3- J5- OH-
J3- J5+ OH-

Figura 2.23: Configurazioni possibili

Abbiamo poi le Robotic Pose appena sotto Robotic Configuration, ma queste saranno trattate più approfonditamente nella seguente sezione dell'elaborato. Arriviamo perciò alla vera e propria definizione delle regole robotiche, le quali hanno una finestra per l'orientamento dell'utensile (Tool Configuration) e una per impostare le configurazioni. In Tool Configuration possiamo stabilire come l'utensile deve disporsi rispetto a ogni punto del percorso di lavorazione. NX supporta le seguenti modalità di orientamento:

- Fisso : si utilizza la finestra di dialogo standard del vettore NX per specificare un vettore fisso. NX allinea questo vettore con l'asse Y della giunzione della punta dell'utensile. Il programma allinea anche l'asse dell'utensile con il vettore IJK del percorso utensile, quindi il vettore specificato definisce l'asse di rotazione dell'utensile. Nella scelta di un vettore, la cosa più importante è che l'utensile sia orientato in modo che il robot possa raggiungere tutte le posizioni del percorso utensile senza violazioni dei limiti di giunzione e singolarità.
- Tangente : l'asse Y della giunzione della punta dell'utensile segue la direzione di taglio locale. Quando il percorso dell'utensile cambia direzione, il robot cambia l'orientamento dell'utensile.
- Tangente Zig-Zag : l'asse Y della giunzione della punta dell'utensile si alterna tra la direzione di taglio locale e la sua direzione inversa.

- Assoluto fisso : appare solo quando il robot è configurato correttamente con un posizionatore [5]

Noi per tutte e tre le operazioni di interesse come modalità di orientamento scegliamo 'Fisso rispetto alla parte' e per specificare il vettore fisso, con l'opzione 'Posizione Percorso' attivata nella finestra per spostare il robot in incipit, clicchiamo con il cursore un punto qualsiasi del percorso utensile e successivamente selezioniamo l'icona del vettore dedotto in giallo. Questa consente di utilizzare come vettore fisso l'attuale vettore Y della punta utensile nella posizione in cui lo abbiamo posto.

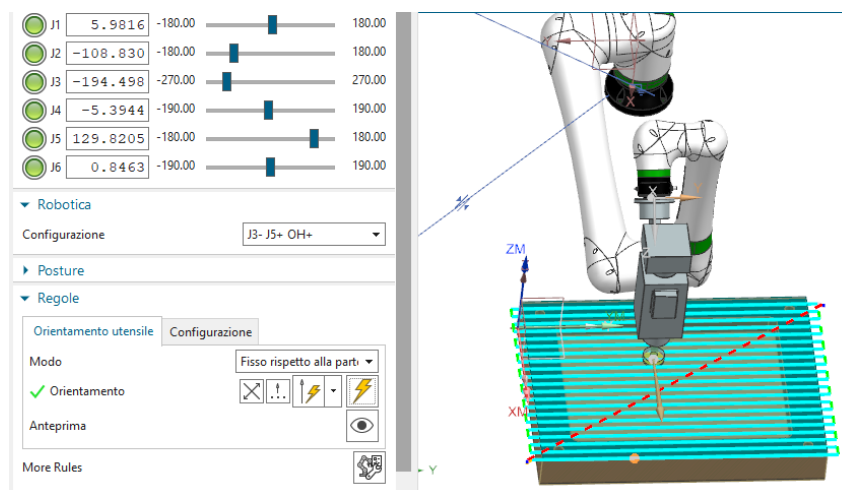


Figura 2.24: Orientamento Utensile

Per quanto riguarda la configurazione invece, il robot nella posizione iniziale di riposo ne presenta una in cui tutti e tre gli assi assumono valori positivi degli angoli (J3+ J5+ OH+). Tuttavia vediamo con la simulazione che questa non sarà la configurazione più adatta poichè fa sorgere diversi problemi, come l'overtravel di alcuni giunti. Allora per definire la configurazione più corretta andiamo nella finestra 'Configurazione' nella parte dedicata alle regole, clicchiamo un punto del percorso utensile in modo da farci arrivare il robot e selezioniamo l'icona gialla che deduce la configurazione attuale del robot. La disposizione dedotta sarà J3- J5+ OH+ e andando a simulare tutte le operazioni sarà effettivamente questa l'unica a non dare problemi di meccanica. Se cliccando un punto nel percorso, vediamo che il robot non riesce a raggiungerlo, oppure ci sono collisioni tra macchina e pezzo, possiamo ricorrere all'opzione 'Muovi Componente' e traslare il CRX in modo da rendere raggiungibili tutti i punti del percorso utensile della piastra.

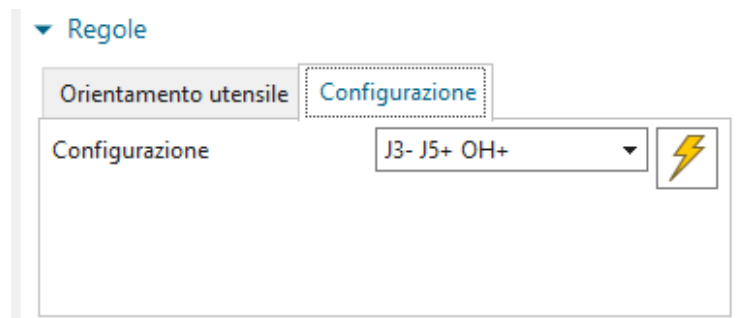


Figura 2.25: Configurazione dedotta

2.4.3 Pose

Come da impostazione predefinita, un robot salta dal punto in cui si trova all'inizio dell'operazione all'inizio del primo movimento programmato. Al termine dell'operazione, il robot rimane nella posizione in cui ha svolto l'ultimo movimento programmato. La sezione 'Pose' nella finestra 'Robot control' ci permette di definire pose iniziali e finali esplicite per ottenere una simulazione più significativa.

Una regola di posa posiziona il robot su sei valori di giunzione specificati. È possibile specificare una sequenza di una o più pose prima dell'inizio dell'operazione e un'altra sequenza di pose dopo il termine dell'operazione. Esiste una regola di posa speciale, Home, che il programma eredita dal modello cinematico del robot quando tutti gli assi si trovano nella loro posizione iniziale predefinita. Si possono definire pose nelle seguenti posizioni:

- Gruppo di programmi di primo livello : le pose qui definite sono disponibili per ogni operazione.
- Gruppi di programmi di livello inferiore : le pose qui definite sono disponibili solo per le operazioni che appaiono sotto il gruppo nella 'vista Ordine di Programma' del Navigatore Operazioni.
- Operazioni : le pose saranno disponibili solo per quella specifica operazione. [5]

Noi nella nostra attività vogliamo far sì che il robot esegua i movimenti necessari per prelevare un utensile dal portautensili prima dell'operazione e poi restituirlo dopo l'operazione. Per fare ciò necessitiamo innanzitutto di un rack, una rastrelliera portautensili. Ricorriamo quindi al file .zip di esercitazione che abbiamo scaricato dalla piattaforma Xcelerator denominato 'parts_manufacturing' e aggiungiamo il file part 'robot_poses_tool_rack' come nuovo componente nel nostro file di lavoro. Per posizionare correttamente il rack dobbiamo applicare i vincoli nella barra 'Assiemì'. Vogliamo disporre il portautensili alla sinistra del nostro robot e per farlo utilizzeremo due vincoli:

- **Contatto e allineamento:** vincola due oggetti in modo tale che si allineino o si tocchino. I due oggetti selezionati saranno la faccia inferiore della base del robot e la faccia inferiore di una delle 4 gambe del rack.
- **Parallelo:** definisce i vettori di direzione di due oggetti come paralleli tra di loro. Selezioniamo spigolo inferiore di una gamba del rack e faccia laterale della base del robot.

Trasliamo poi il rack posizionandolo alla distanza necessaria dal CRX e infine applichiamo il vincolo **Fissa** che inchioda l'oggetto nella configurazione attuale.

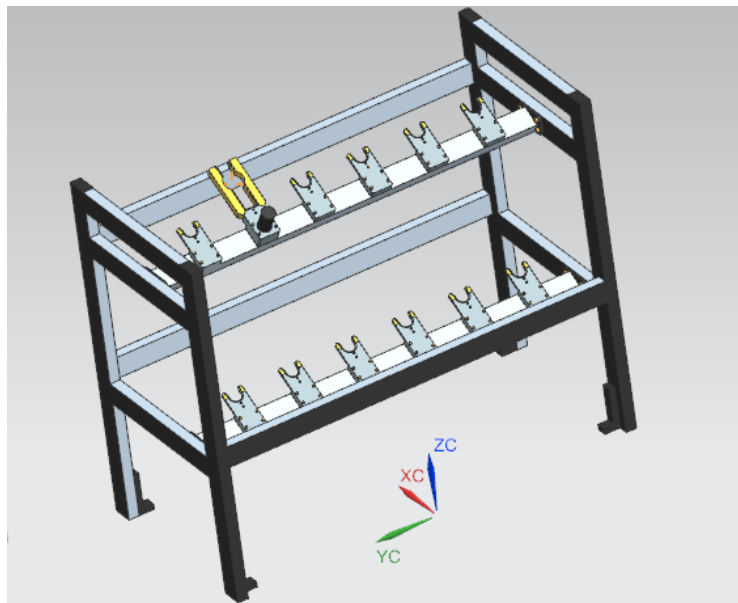


Figura 2.26: Rastrelliera portautensili

Passiamo ora all'atto pratico della definizione di due particolari pose che sfrutteremo. Selezioniamo una delle operazioni e visualizziamo la finestra 'Robot Control'. Attiviamo lo spostamento manuale con il punto di controllo dell'utensile, clicchiamo sull'origine del riferimento della testa e poi sul centro dell'arco di una delle pinze nella riga inferiore del rack. Selezioniamo poi attentamente la punta dell'asse x del riferimento e la faccia superiore della pinza, poi ancora la punta dell'asse y del riferimento e lo spigolo laterale della pinza. La testa dell'utensile è ora allineata con la pinza e l'utensile è centrato sull'apertura. Adesso misuriamo la distanza tra il centro della punta della testa portautensile e il centro della pinza e trasliamo in basso il sistema di riferimento di tale quantità in modo che la testa dell'utensile si sposti nella sua posizione di riposo nella rastrelliera, toccando la faccia della pinza. Con questo assetto aggiungiamo una nuova posa nell'elenco delle pose e la chiamiamo

'Tool Change' poichè in questa configurazione avviene lo switch degli utensili sul rack.

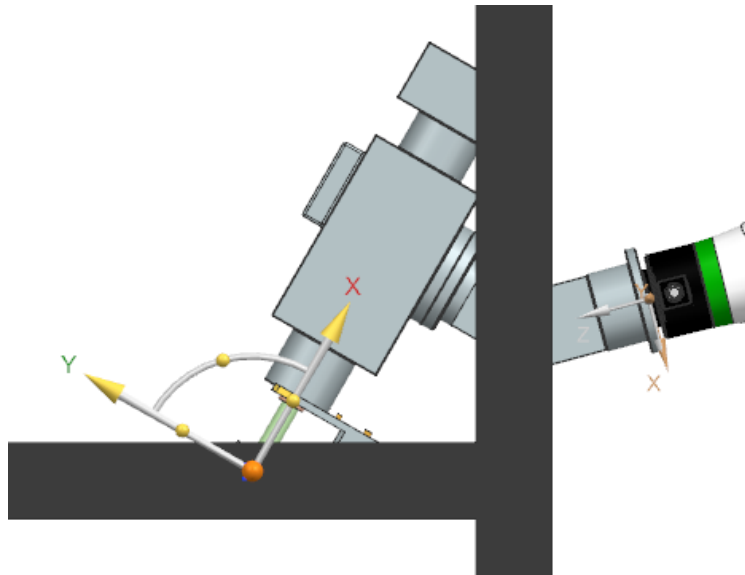


Figura 2.27: Posa Tool Change

Successivamente definiamo un seconda posa che chiameremo '**Intermediate**' poichè viene assunta dopo lo sgancio dal rack ma prima dell'inizio della lavorazione. Per farlo, partendo dalla 'Tool Change' trasliamo il sistema di riferimento nella direzione x di circa 600 mm e poi salviamo la configurazione come nuova posa nell'elenco.

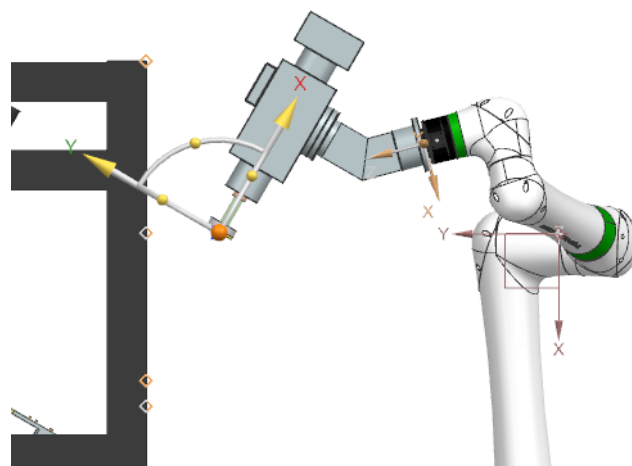


Figura 2.28: Posa Intermediate

Ci resta solo da definire la sequenza di pose che vogliamo far assumere al CRX prima e dopo le operazioni. Andiamo allora nell'elenco pose e con le icone copia e incolla, lavoriamo fino ad ottenere una tale sequenza:

Before Operation Start:

- **Tool Change**

- **Intermediate**

- **Home**

After Operation End:

- **Intermediate**

- **Tool Change**

- **Intermediate**

- **Home**

dove la posa 'Home' è quella in cui tutti gli assi si trovano nella posizione predefinita iniziale. Possiamo poi realizzare per le tre operazioni, differenti tipi di pose con lo scopo di analizzare i movimenti da diversi punti di vista e nel caso capirne meglio le problematiche.

Simulation Per concludere possiamo verificare che tutto il lavoro sia stato fatto correttamente avviando la 'Simulazione macchina' nella barra Home. Per evidenziare anche i vari passaggi che il robot compie per mettersi nelle pose che abbiamo impostato possiamo attivare l'opzione di 'Visualizza Traccia Utensile'. Come notiamo dall'immagine sotto riportata le traiettorie dell'utensile che sono dettate dalle pose imposte sono colorate in azzurro, quelle programmate per attivare il percorso utensile sono in rosso. La differenza appare marcata se guardiamo l'operazione di drilling in cui non sono state definite pose a differenza delle altre due operazioni e le traiettorie sono solo rosse.

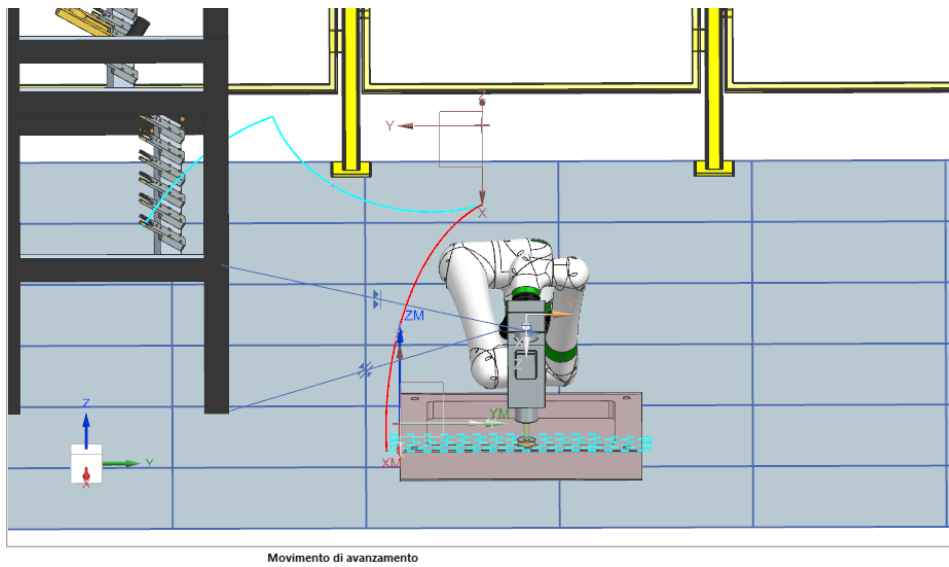


Figura 2.29: Frame del CRX 10iA/L durante FLOOR_FACING

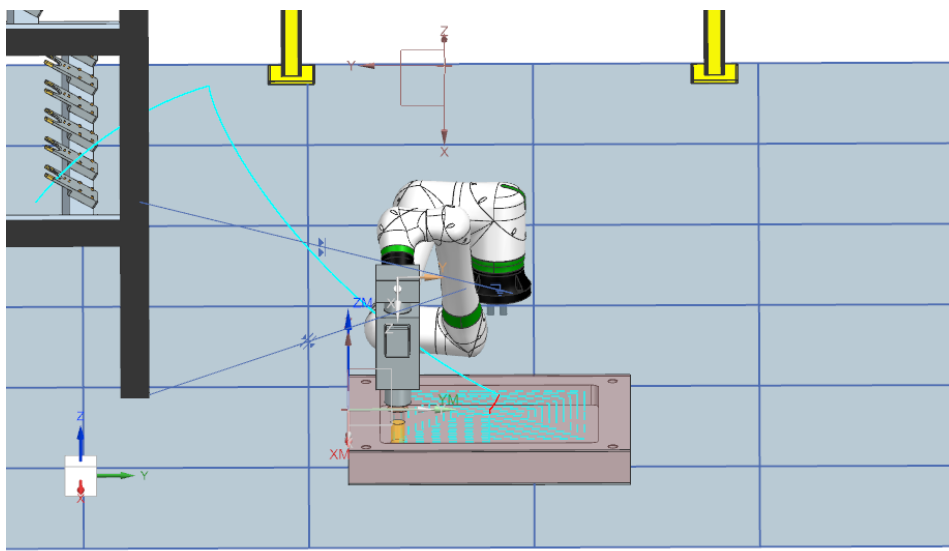


Figura 2.30: Frame del CRX 10iA/L durante POCKETING

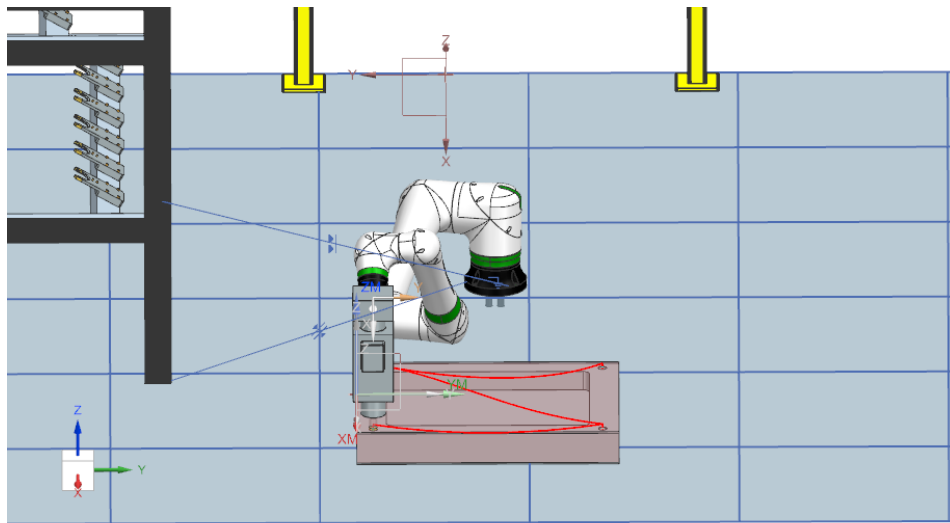


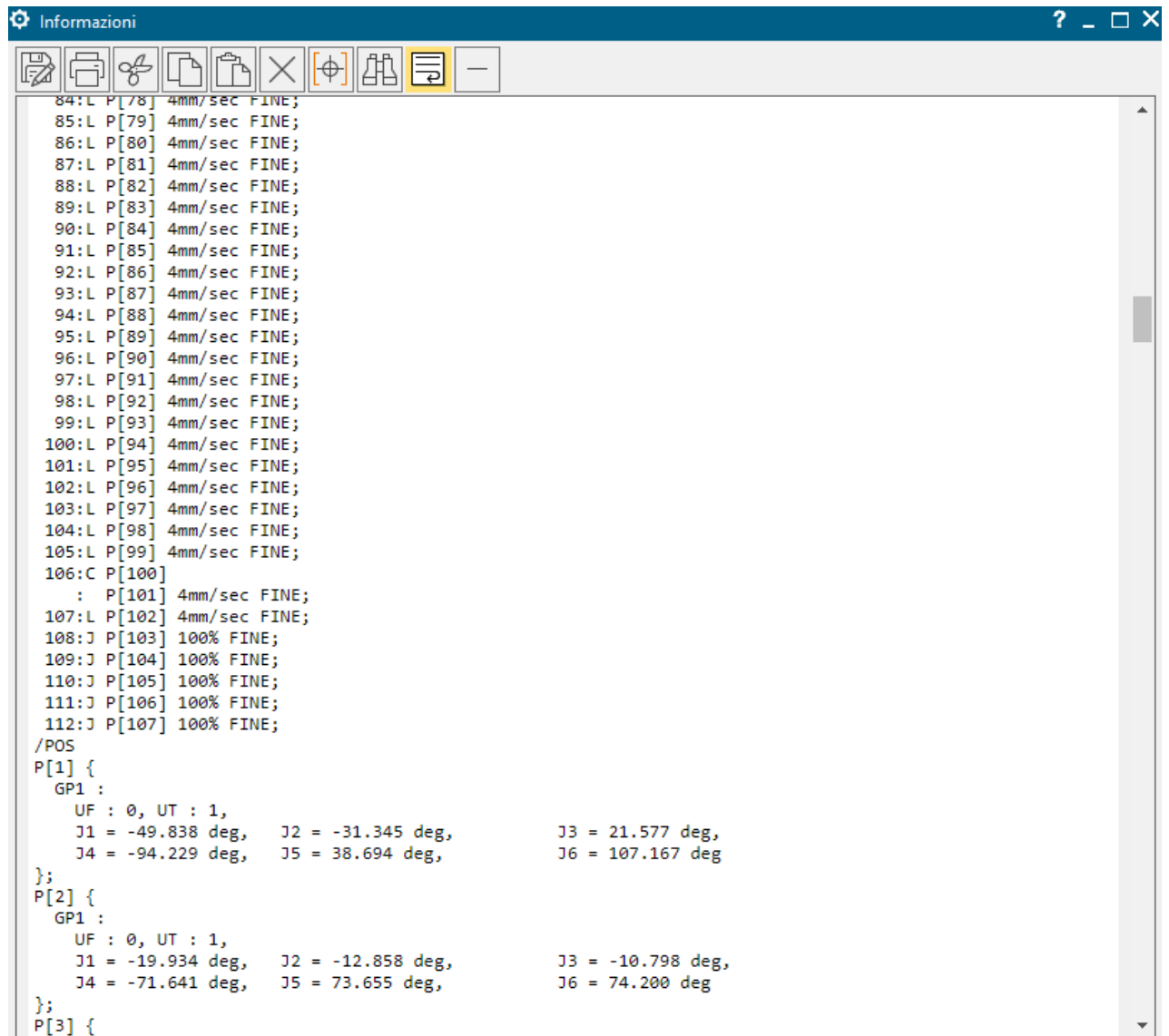
Figura 2.31: Frame del CRX 10iA/L durante DRILLING

2.5 Postprocessing

Un sistema CAD/CAM funziona solo se esiste un post-processor. Il post-processor è un software che trasforma le entità geometriche (linee, archi, cerchi, direzione asse utensile ecc.) in un codice comprensibile dal controller della macchina CNC. Questo è perciò uno degli elementi fondamentali nel campo dei CAM e costituisce un aspetto molto delicato per quanto riguarda la programmazione della macchina. NX CAM dispone di un sistema di postprocessing perfettamente integrato. I vari livelli di validazione del programma NC comprendono la simulazione basata sul codice G, che elimina la necessità di pacchetti di simulazione separati. Il codice gcode è un codice che definisce i comandi da impartire ad un dispositivo a controllo numerico (Computer numeric control – CNC) in modo da poterlo governare completamente. Il gcode di una lavorazione è estraibile direttamente dall'interno dell'ambiente di NX senza rendere necessaria l'implementazione di programmi esterni. NX include quindi un proprio sistema postprocessor, che è strettamente collegato al sistema di base CAM. È possibile generare facilmente il codice NC necessario per quasi tutti i tipi di configurazione della macchina utensile e del controller. Per generare il gcode di una lavorazione basta cliccare con il tasto destro sull'operazione nel Navigatore Operazioni e scegliere il comando 'Postprocessamento'. Si aprirà ora una finestra in cui possiamo scegliere il postprocessore. Il codice sarà scritto diversamente in base al processore che sceglieremo. NX gestisce una libreria di post-processor, cioè una risorsa on-line contenente vari post-processor in grado di supportare una vasta gamma di macchine utensili. Il robot che abbiamo analizzato in questa trattazione è prodotto dalla casa costruttrice FANUC, perciò clicchiamo l'icona per individuare un postprocessore e dalla libreria del software prendiamo il file FANUC_RJ_post.pui. Altri postprocessori che sono supportati sono ad esempio quello di tipo ABB RAPID

Capitolo 2 Sviluppo

o anche KUKA. Confermiamo e nella scheda Informazioni appare per esteso il gcode relativo all'operazione desiderata. Se nel codice sono presenti dei warning significa che qualcosa è andato storto nella lavorazione robotica. Ogni casa costruttrice fornisce poi determinate specifiche su come interpretare i codici scritti con i loro processori.



```
84:L P[78] 4mm/sec FINE;  
85:L P[79] 4mm/sec FINE;  
86:L P[80] 4mm/sec FINE;  
87:L P[81] 4mm/sec FINE;  
88:L P[82] 4mm/sec FINE;  
89:L P[83] 4mm/sec FINE;  
90:L P[84] 4mm/sec FINE;  
91:L P[85] 4mm/sec FINE;  
92:L P[86] 4mm/sec FINE;  
93:L P[87] 4mm/sec FINE;  
94:L P[88] 4mm/sec FINE;  
95:L P[89] 4mm/sec FINE;  
96:L P[90] 4mm/sec FINE;  
97:L P[91] 4mm/sec FINE;  
98:L P[92] 4mm/sec FINE;  
99:L P[93] 4mm/sec FINE;  
100:L P[94] 4mm/sec FINE;  
101:L P[95] 4mm/sec FINE;  
102:L P[96] 4mm/sec FINE;  
103:L P[97] 4mm/sec FINE;  
104:L P[98] 4mm/sec FINE;  
105:L P[99] 4mm/sec FINE;  
106:C P[100]  
      : P[101] 4mm/sec FINE;  
107:L P[102] 4mm/sec FINE;  
108:J P[103] 100% FINE;  
109:J P[104] 100% FINE;  
110:J P[105] 100% FINE;  
111:J P[106] 100% FINE;  
112:J P[107] 100% FINE;  
/POS  
P[1] {  
  GP1 :  
    UF : 0, UT : 1,  
    J1 = -49.838 deg,   J2 = -31.345 deg,       J3 = 21.577 deg,  
    J4 = -94.229 deg,  J5 = 38.694 deg,        J6 = 107.167 deg  
};  
P[2] {  
  GP1 :  
    UF : 0, UT : 1,  
    J1 = -19.934 deg,   J2 = -12.858 deg,       J3 = -10.798 deg,  
    J4 = -71.641 deg,  J5 = 73.655 deg,        J6 = 74.200 deg  
};  
P[3] {
```

Figura 2.32: Frammento di gcode relativo a FLOOR_FACING

Conclusione

Lo scopo primario di questo elaborato voleva essere quello di esplorare le potenzialità offerte dalla piattaforma NX CAM. Essendo questo uno strumento sul quale è ancora presente relativamente poco materiale di studio al di là della guida ufficiale Siemens, si è cercato come approccio primario di andare a sviscerare la logica dietro cui i principali comandi e funzioni di lavoro operano. Per fare questo si è fatto riferimento al cobot della Fanuc acquistato dal gruppo di ricerca di Meccanica Applicata alle Macchine, disponendo del suo modello CAD. La stessa elaborazione del gcode in sé per sé non è stata esigualmente approfondita nell'elaborato, proprio perché il nostro obiettivo principale è stato quello di sviluppare un progetto che mettesse insieme e spiegasse quante più funzionalità possibili relative all'ambito Manufacturing di NX. Gli strumenti offerti da questa piattaforma sono infiniti e non si limitano solo all'automazione e al manufacturing ma parliamo anche di fabbricazione additiva, stampa 3D, simulazione Multi-body tramite NX MOTION o la semplice progettazione assistita. Ovviamente tutto ciò che abbiamo visto trova numerose applicazioni al giorno d'oggi, in cui i robot, in particolare quelli collaborativi, sono sempre più al centro del processo produttivo. Questo elaborato nasce con lo scopo di essere d'aiuto agli studenti o alle figure professionali dell'Università Politecnica delle Marche che dovranno interfacciarsi con gli stessi problemi e che potranno trovare in esso un riferimento serio e dettagliato.

Bibliografia

- [1] Robotica collaborativa: come sarà l'interazione nella fabbrica del futuro. <https://expertise.boschrexroth.it/robotica-collaborativa-come-sara-linterazione-nella-fabbrica-del-futuro/>.
- [2] Maurizio Galetto and Rebori Paola. Robotica collaborativa nell'industria 4.0.
- [3] Robotica collaborativa: La prima tecnologia abilitante dell'industria 4.0. <https://www.focusindustria40.com/robotica-collaborativa/>.
- [4] Cos'è nx cam per la produzione di siemens. <https://team3d.it/product/nx-cam-siemens/>.
- [5] Nx documentation. <https://docs.sw.siemens.com/it-IT/documents/209349590/PL20200605195244930>.
- [6] La nuova versione di siemens nx digitalizza l'officina. <https://www.ilprogettistaindustriale.it/la-nuova-versione-di-siemens-nx-digitalizza-lofficina/>.