

**ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÁ DI BOLOGNA**

**SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA
Sede di Forlì**

**Corso di Laurea Magistrale in
INGEGNERIA MECCANICA
Classe LM-33**

**TESI DI LAUREA
*in Teoria dei Sistemi e dei Controlli per l'Automazione LM***

**Progettazione di traiettorie su robot industriali per
applicazioni di siliconatura.**

CANDIDATO

Filippo Angelini

RELATORE

Prof. Ing. Gianluca Palli

CORRELATORE

Ing. Paolo Zoffoli

Anno Accademico 2017/2018

Sessione VI

Indice

Ringraziamenti	4
Abstract	6
Capitolo 1. Introduzione	7
1.1. Obiettivo.....	7
1.2. Constructa Sistemi S.r.l.....	9
Capitolo 2. Strumenti utilizzati	11
2.1. Robot KUKA	11
Struttura del Robot.....	11
Manipolatore Robot	12
Controllo Robot	13
KUKA SmartPAD	14
Preparazione Robot.....	18
2.2. Programmazione traiettorie.....	22
Istruzioni di movimento nella programmazione.....	24
WorkVisual.....	27
Vantaggi e svantaggi della programmazione.....	36
2.3. Silicone.....	42
Silicone attualmente utilizzato in produzione.....	42
Nuovo silicone da testare.....	45
2.4. Sistema di erogazione e controllo	48
Sistema sperimentale	48
Controllo del sistema di erogazione del silicone	50
Gestione dei parametri della siliconatura	52
Sistema di erogazione del silicone.....	56
Capitolo 3. Incollaggio pezzi	59
3.1. Procedura di incollaggio	59

3.2. Pannelli di Controllo	60
Painted panel black to knobhousing PBT and timerframe PC/Abs	61
Metal panel stainless steel	62
Painted panel white to knobhousing PBT and timerframe PC/Abs.....	63
Metal glass panel (Ikea), black coated matt to knobhousing PBT and timerframe PC/Abs	64
Glass-in-model to INOX.....	65
Glass-in-model to WHITE frame	67
Full Glass Panel	68
Glass-out-3D painted White	72
Glass-out-3D painted Black.....	74
Glass-out-3D SS	74
3.3. BI Access Door	75
3.4. Inner Door	78
3.5. Front Door.....	79
3.6. Cooktops	82
Capitolo 4. Conclusione	88
Bibliografia e sitografia	89

Ringraziamenti

Eccomi qua alla fine di questo lungo percorso di studi. L'euforia di avere raggiunto questo traguardo è davvero immensa, in quanto sono riuscito a intraprendere e tagliare il traguardo di una strada dura e piena di ostacoli.

Devo ringraziare innanzitutto il professor Gianluca Palli che mi ha supportato durante questo lavoro e mi ha permesso di inserirmi nell'azienda che mi ha accolto per realizzare questa tesi come tirocinio. Inoltre ringrazio anche i ragazzi della Constructa Sistemi in particolare i miei tutor Vanni Bartomeoli e Paolo Zoffoli che mi sono stati sempre disponibili nel momento del bisogno e anche agli altri colleghi, che mi hanno accolto in azienda con simpatia come fossi uno di loro, e chissà cosa riserberà il futuro...

Devo ringraziare la mia famiglia, in particolare i miei genitori, che mi hanno sempre spronato e spinto a dare sempre il meglio di me. Devo ringraziare mia madre Monica che con il suo carattere burbero da professoressa universitaria mi ha sempre fatto sentire il fiato sul collo, finché gli esami non erano finiti. Devo ringraziare mio padre Giorgio che in questi anni, oltre all'ovvio ruolo di padre, si è sempre comportato anche come un fratello maggiore, sfidandomi come il miglior rivale di sempre e distraendomi ogni tanto dalle fatiche dello studio.

Devo ringraziare le nonne Mazzina e Pierina che nonostante le perdite degli ultimi anni mi hanno sempre dimostrato tanto affetto e tenerezza, e un pensiero va anche ai nonni Franco e soprattutto Bruno, che non ci sono più, ma penso sarebbero fieri del mio traguardo. Ringrazio anche gli zii, le zie e le cugine, in primis lo zio Renzo che mi ha avviato allo studio della chitarra acustica, con cui ho potuto svagarmi un po'.

Un ringraziamento speciale va a tutti i miei amici, per primi i compagni di sempre di Forlì, ovvero Andrea e Ale, Luca, Cesco, Lorenz, Mirco, Franci, Lisa, Lori e Richi, che nonostante la lontananza per vari motivi sono sempre stati presenti nella mia vita; ringrazio anche i miei "vecchi" del mio quartiere di San Martino, con cui lo svago è sempre assicurato, Michel, Prima, Versa, Andre, Cate, Elia, Achi, Tommi, Borgia, Leo, senza dimenticare queglii "extracomunitari" di Miga e Faëbio.

Inoltre devo ringraziare anche quelle persone che mi hanno accompagnato più da vicino durante il mio percorso di studi, come i compagni di facoltà e amici con cui ho condiviso progetti universitari e giornate intense di studio nella famosa aula studio di Valverde: Ruggi, Giulio, Aldo, Teo, Ventu, Bambu, Red, Fede, Daniel e tanti altri.

Un grazie molto sentito anche alla Compagnia del mare che mi ha permesso di rilassarmi e ricaricare le batterie in vista degli esami ogni estate nella nostra Lido di Classe, con i mitici Gabbo, Za, Ale, Gela, Pek, Dombro, Cami, Dede e Cosimo.

Mi rendo conto di avere tanti amici e persone care e devo sottolineare che sono fortunato, poiché sono stati tutti importanti per il conseguimento di questo traguardo che sancisce la fine del mio percorso di studi. Ammetto che devo ringraziare un po' anche me stesso per averci creduto fino a questo momento e non essere mai crollato di fronte alle difficoltà, perché l'importante è non mollare mai, fino alla fine!

Abstract

L'attività di tesi nasce dalla necessità di una grande multinazionale produttrice di elettrodomestici di valutare una nuova tipologia di silicone per l'incollaggio di componenti di vario tipo per una catena di prodotti riguardanti forni da cucina.

Lo scopo del lavoro, prevalentemente di natura pratica, è quello di realizzare gli incollaggi dei componenti col silicone SIKA in modo da valutare se tale materiale presenti similari qualità di adesione rispetto a quello attualmente utilizzato in produzione, ossia Dow Corning, per permettere alla multinazionale stessa i test distruttivi e verificare se il nuovo silicone può essere utilizzato in linea di produzione senza conseguenze.

Per realizzare il lavoro quindi si sono ricreate il più fedelmente possibile le condizioni reali di produzione in linea dei componenti, utilizzando un robot KUKA per la realizzazione dei cordoni di siliconatura nella sede di Constructa, azienda forlivese dove è stato svolto il tirocinio. La prima fase del lavoro consiste in uno step di formazione riguardante l'utilizzo e la programmazione del robot per potere in un secondo momento progettare le traiettorie dell'ugello, che con un apposito sistema di spinta depositerà il silicone.

La progettazione ha toccato tutte le fasi di realizzazione di un prodotto: hardware, software e realizzazione dei campioni per i test di prova che verranno effettuati nella sede della multinazionale in Polonia.

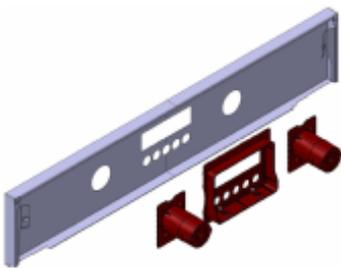
Capitolo 1. Introduzione

1.1. Obiettivo

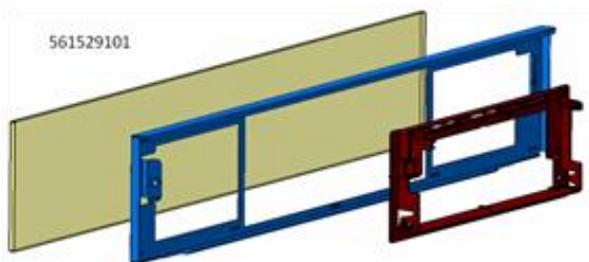
Lo scopo del lavoro è stato quello di soddisfare la commessa richiesta dalla sede in Polonia di una grossa multinazionale produttrice di elettrodomestici, per la realizzazione dei seguenti componenti:

1. Control Panels:

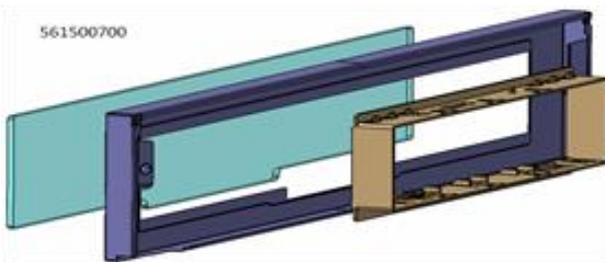
- metal (SS / black / white) + plastic housings (pipo / set or hex frames) – 10pcs each (tot. 30pcc), 1 program



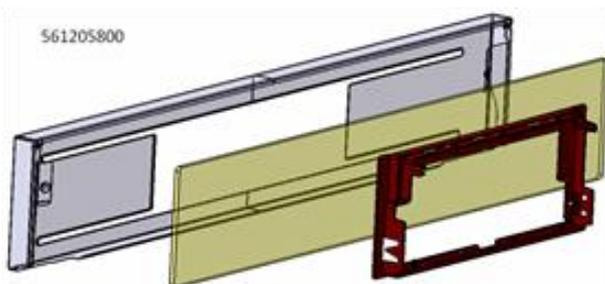
- full glass panel: pre-painted sup. plate + glass + housings – 10pcs, 1 program



- glass out model (like BF 3D): glass + metal panel (AFPRI / black / white) + housings – 10pcs each (tot. 30pcs), 1 program

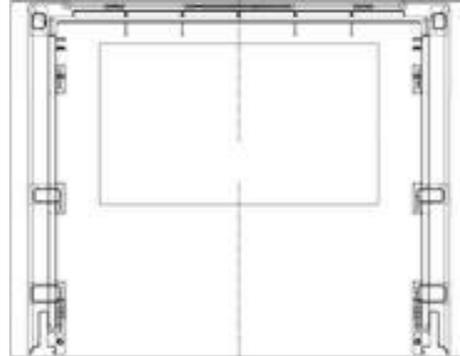
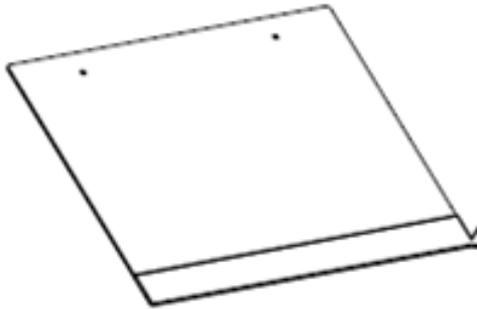


- glass in model (like BF 2D or P10) metal panel (SS / black / white) + glass + housings – 10pcs each (tot. 30pcs), 1 program



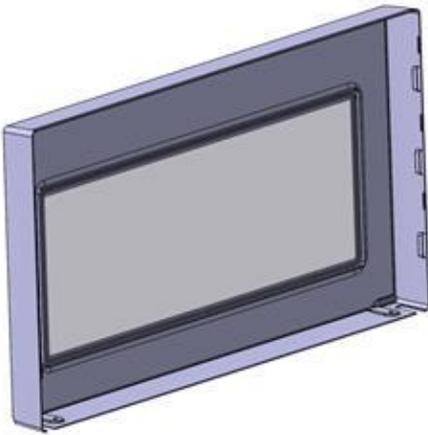
2. BI Access door: décor trim + glass + door column

- PYRO (10pcs), non-pyro (10pcs) – tot. 20pcs, 1 program
- décor trims SS / black / white – tot. 30pcs, 1 program



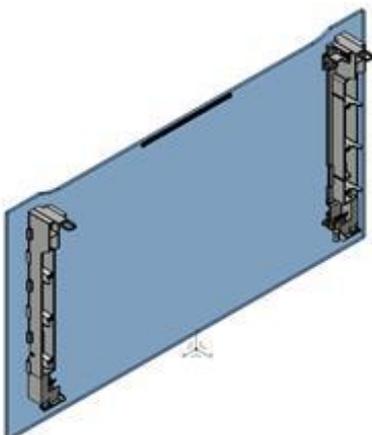
3. MW Inner Door: Door cover + Inner Glass

- LCP door cover (10pcs), PPS door cover (10pcs) – tot. 20pcs, 1 program



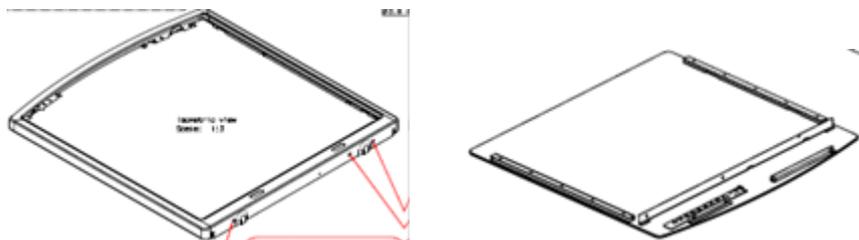
4. Front Door: door column + glass

- Matrix 10pcs, 1 program
- Ariane/Opole 10pcs, 1 program



5. Cooktops: VTC glass + frame

Frames SS / enameled Black & white / painted Silver – tot. 40pcs, 1 program



We need surface treatment of course:

- plasma for plastic and painted / pre-painted components
- primer for raw metal (can be applied manually)

Il lavoro quindi consiste nella realizzazione dei programmi dei percorsi di siliconatura per i seguenti pezzi e il loro relativo incollaggio con il nuovo silicone SIKA attraverso dei cordoni di siliconatura depositati tramite un sistema di erogazione collegato a un braccio robotico KUKA.

Attraverso programmazione con lo SmartPad di KUKA e il software WorkVisual 4.0 si sono progettate le traiettorie che il robot deve seguire per la realizzazione dei pezzi.



1.2. Constructa Sistemi S.r.l.

Constructa Sistemi S.r.l. è l'azienda che mi ha accolto per svolgere questa attività come tirocinio curriculare. Si tratta di un'azienda di automazione e robotica iscritta a Confartigianato e fondata nel 1984 da Leonardo Fantini, che tuttora la presiede.

Trova la propria identità negli anni '90 impegnandosi nel settore degli elettrodomestici, dove oltre ad operare come fornitore di linee di montaggio e collaudo, diventa ben presto leader nella realizzazione di impianti di siliconatura. Negli anni successivi, pur rimanendo costantemente nell'ambito degli elettrodomestici, Constructa ha ampliato il proprio spazio operativo realizzando progetti e forniture per altri innumerevoli e svariati settori fra i quali:

- Automotive
- Alimentare
- Ecologico
- Chimico
- Farmaceutico
- Metalmeccanico
- Siderurgico

L'esperienza ad oggi acquisita, permette a Constructa di trasferire le tecnologie ed il know-how da un settore all'altro, ottimizzando in questo modo, gli studi di fattibilità degli impianti richiesti ed offrendo al cliente utilizzatore le migliori soluzioni alle sue esigenze.



Figura 1: Sede forlivese di Constructa.

Capitolo 2. Strumenti utilizzati

2.1. Robot KUKA

Per l'automazione del sistema di incollaggio è fondamentale studiare il robot che realizzerà i movimenti dell'ugello erogatore. In questo caso specifico la multinazionale che ci ha fornito la commessa utilizza robot KUKA per la linea di produzione, che compiranno i lavori di:

- Posizionamento
- Pretrattamento
- Siliconatura
- Incollaggio
- Stoccaggio

In questo modo hanno a disposizione linee di produzione completamente automatizzate. Il nostro caso di studio interessa solo la parte di siliconatura, che è la fase più delicata all'interno del processo. Inoltre nel capannone di Constructa Sistema si aveva a disposizione un unico robot KUKA per effettuare le siliconature, mentre tutti gli altri lavori sono stati realizzati manualmente.

Struttura del Robot

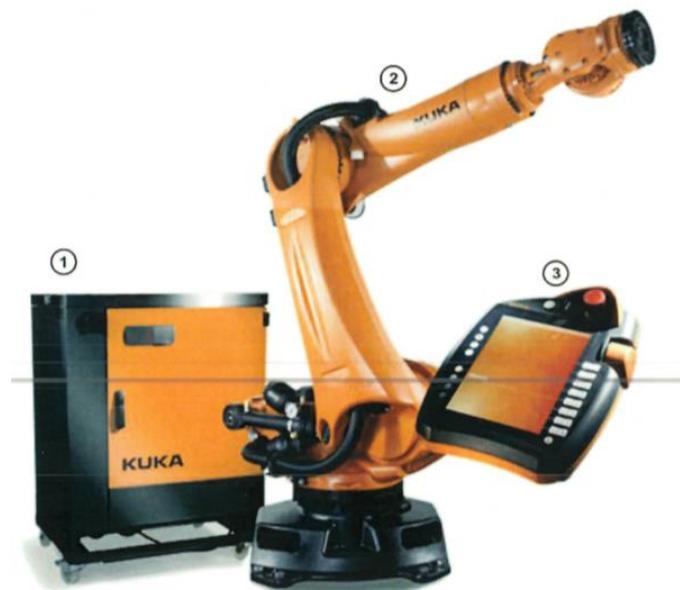


Figura 2: Robot KUKA

1. Controllo (armadio di comando (V)KR C4).
2. Manipolatore (meccanica del robot).
3. Terminale di comando e programmazione (KUKA smartPAD).

Manipolatore Robot

Rappresenta la meccanica vera e propria del robot. È costituito da un numero di elementi mobili concatenati tra loro (assi). Si parla anche di catena cinematica.



Fig. 1-3: Panoramica componenti meccanica del robot

- | | | | |
|---|---------------------------------------|---|-----------------|
| 1 | Basamento | 4 | Leva oscillante |
| 2 | Carosello | 5 | Braccio |
| 3 | Dispositivo di compensazione del peso | 6 | Polso |

I componenti di una meccanica del robot sono prevalentemente in alluminio e acciaio pressofuso. In casi specifici si utilizzano anche componenti in fibre di carbonio.

I singoli assi sono numerati dal basso (base del robot) verso l'alto (flangia del robot):

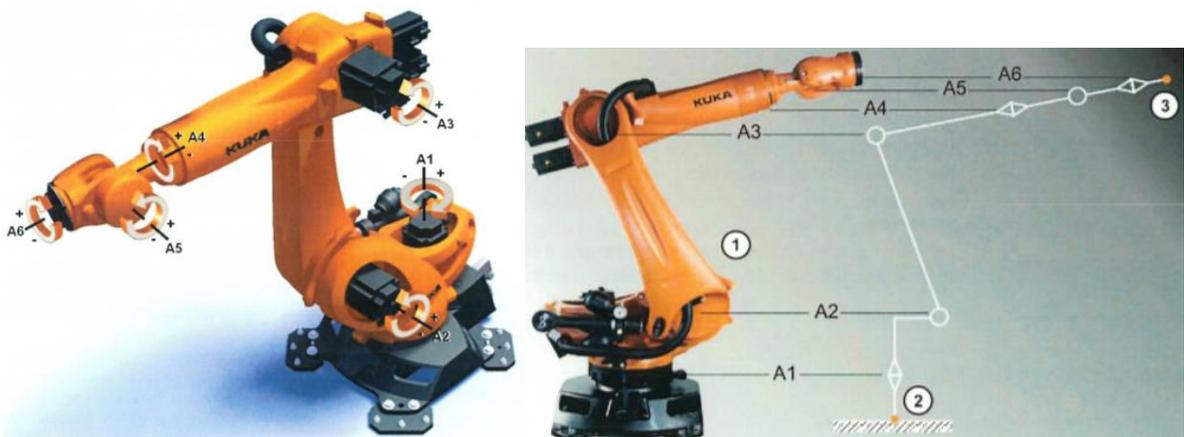


Figura 3: Assi del robot

Controllo Robot



Fig. 1-6: (V)KR C4 regolazione assi

Figura 4: armadio di comando.

L'armadio di comando (V)KR C4 contiene tutta l'elettronica di controllo del robot, in particolare permette la pianificazione della traiettoria con una regolazione di sei assi del robot e due assi esterni. Proprietà del controllo:

- Controllo del processo opzionale: Soft PLC integrato KUKA. PLC secondo IEC61131
- Controllo di sicurezza
- Controllo di movimento
- Possibilità di comunicazione tramite sistemi bus (esempi: ProfiNet, Ethernet IP, Interbus):
 - Controllori logici programmabili (PLC)
 - Altri controlli
 - Sensori e attuatori
- Possibilità di comunicazione tramite rete:
 - Calcolatore centrale
 - Altri controlli
 - Service Notebook



Fig. 1-8: Possibilità di comunicazione (V)KR C4

KUKA SmartPAD

Dispositivo di comando portatile, permette la movimentazione degli assi del robot e la progettazione di traiettorie in maniera molto intuitiva.

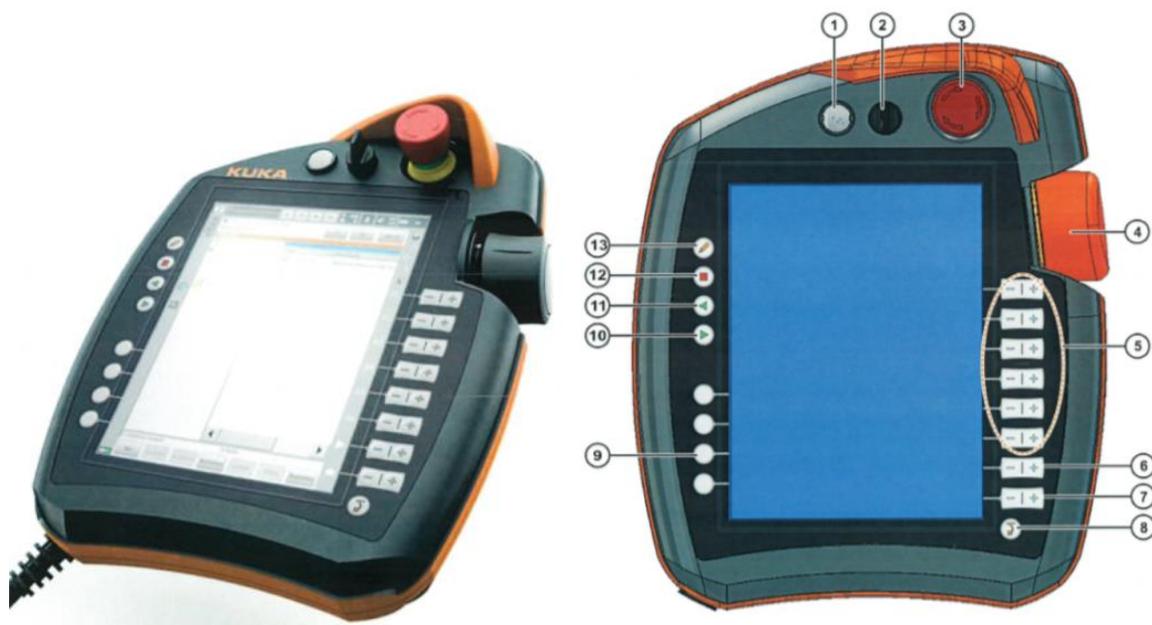


Figura 5: SmartPAD

Pos.	Descrizione
1	Pulsante per staccare lo SmartPAD.
2	Interruttore a chiave per richiamare il manager di collegamento. L'interruttore può essere attivato solo una volta inserita la chiave. Tramite il manager di collegamento è possibile cambiare il modo operativo.
3	Arresto d'emergenza: per arrestare il robot in situazioni di pericolo.
4	Space Mouse: per lo spostamento manuale del robot.
5	Tasti di spostamento: per lo spostamento manuale del robot.
6	Tasto per l'impostazione dell'override di programma.
7	Tasto per l'impostazione dell'override manuale.
8	Tasto menù principale: mostra sulla smartHMI le voci di menù.
9	Tasti di stato: servono principalmente a impostare i parametri dei pacchetti tecnologici. La loro funzione specifica dipende dai pacchetti installati.
10	Tasto Start: Col tasto Start si avvia un programma.
11	Tasto Start Indietro: si avvia un programma, ma all'indietro. Programma eseguito passo per passo.
12	Tasto STOP: si arresta il programma in corso.
13	Tasto tastiera: permette di visualizzare la tastiera. Normalmente non è necessario in quanto la smartHMI riconosce quando devono essere effettuate immissioni tramite tastiera, che viene visualizzata in automatico.



Nell'immagine soprastante vediamo la finestra dei messaggi e in alto diversi riquadri, tra cui:

- S: sta per Start, si accende di verde ogni volta che il KUKA si sta muovendo.
- I: stato del tasto di uomo morto, che sarebbe il tasto di consenso che va premuto per qualsiasi azione di tipo manuale e che è situato dietro alla smartPAD. Ci sono 3 pulsanti che per ogni azione manuale andranno mantenuti premuti per continuare il processo (ne basta uno, non serve premerli tutti contemporaneamente).



- R: Stato del programma.

Simbolo	Colore	Descrizione
	grigio	Nessun programma selezionato.
	giallo	Il puntatore di frase si trova sulla prima riga del programma selezionato.
	verde	Il programma è selezionato ed è in esecuzione.
	rosso	Il programma selezionato e avviato è stato arrestato.
	nero	Il puntatore di frase si trova al termine del programma selezionato.

- T1: riquadro del modo operativo. I Modi operativi sono quattro: T1, manuale a velocità ridotta; T2, manuale a velocità elevata; AUT, automatico; AUT EXT, automatico esterno. Per scegliere il modo operativo è necessario girare la chiave del manager di collegamento.

- Riquadro di Override: necessario per poter impostare in che percentuale si vuole sfruttare le potenzialità del robot in velocità.

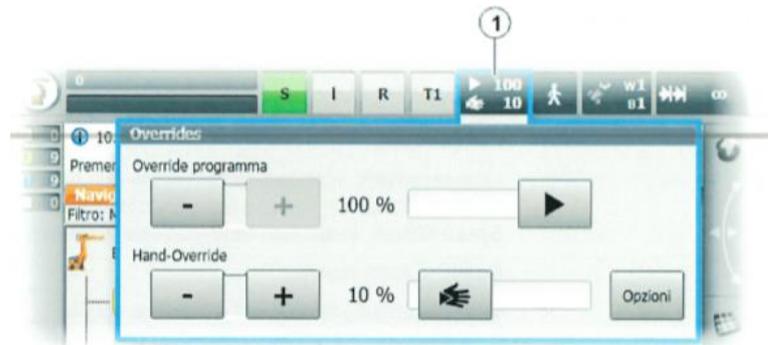
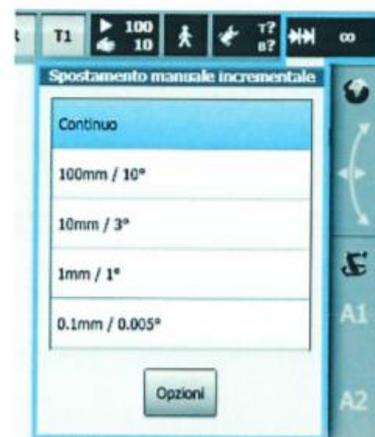


Figura 6: impostazione di Override

- Riquadro di tipi di svolgimento programma:

	<p>GO</p> <ul style="list-style-type: none"> Il programma si svolge senza interruzioni fino alla conclusione del programma stesso. In funzionamento test si deve tenere premuto il pulsante Start.
	<p>Movimento</p> <ul style="list-style-type: none"> Nel tipo di svolgimento Motion Step, ogni istruzione di movimento viene elaborata singolarmente. Al termine di un movimento si deve premere di nuovo ogni volta "Start".
	<p>Passo singolo Disponibile solo nel gruppo utenti "Esperto"!</p> <ul style="list-style-type: none"> Con l'Incremental Step si lavora riga per riga (indipendentemente dal contenuto della riga). Dopo ogni riga si deve di nuovo azionare il pulsante Start.

- Indice riferimenti: indica rispetto a quale base e tool ci si sta muovendo.



- Spostamento manuale incrementale: durante uno spostamento, se il robot raggiunge l'incremento impostato, il robot si ferma.

La prima parte della formazione ha riguardato proprio imparare a comandare i movimenti del braccio robotico in maniera manuale attraverso lo SmartPAD, secondo i vari riferimenti e nelle varie modalità di movimento. In particolare gli assi possono essere movimentati in modi differenti:

- Con **tastiera**: è permesso muovere in maniera indipendente uno dei 6 assi del robot, oppure muovere il robot spostando il TCP (Tool Center Point) rispetto a un riferimento a scelta dall'operatore sullo SmartHMI. In questo secondo caso si definisce la posizione dell'operatore rispetto al robot, il sistema di riferimento rispetto a cui si vuol dettare i movimenti e infine con i tasti si può muovere l'end effector in maniera indipendente lungo uno degli assi (X, Y, Z) o attorno uno degli assi (degli angoli A, B, C, rispettivamente rotazioni attorno a Z, Y, X).
- Con **Space mouse**, che permette solo il movimento del robot considerando la posizione dell'end effector rispetto al riferimento prescelto da smartHMI (HMI è l'acronimo di Human Machine Interface).

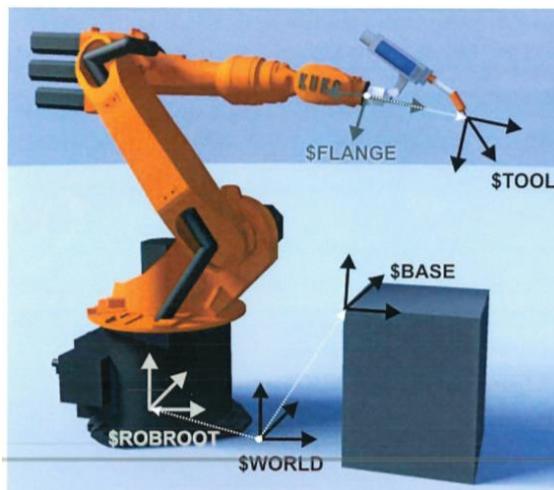


Figura 7: riferimenti di macchina.

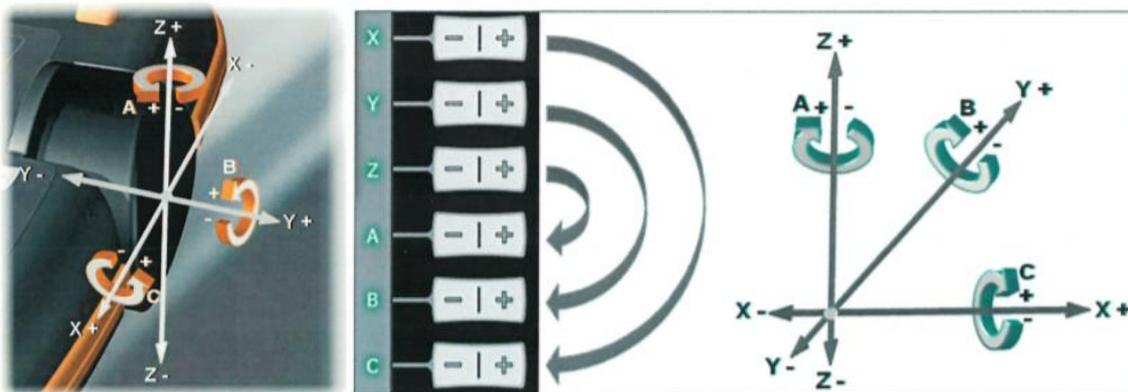


Figura 8: movimenti consentiti.

Preparazione Robot

Prima di svolgere qualsiasi tipo di lavoro col robot, occorre seguire delle procedure di routine necessarie ad assicurarsi che il robot lavori con la precisione che ci si aspetta. La più importante è la calibrazione del robot.

Nel nostro caso utilizziamo una calibrazione “fine” chiamata **calibrazione EDM** (**E**lectronic **M**astering **D**evice). Sul robot sono presenti tacche che identificano i punti di partenza della calibrazione, dove il robot va posizionato manualmente. Sono presenti due strumenti per la calibrazione che dipendono dalla taglia del robot:



P os .	Descrizione	P os .	Descrizione
1	Box di calibrazione universale	4	SEMD- Sensore per cartucce di calibrazione grandi
2	Cacciavite	5	Cavi
3	MEMD- Sensore per cartucce di calibrazione piccole		

Figura 9: Kit completo di Calibrazione

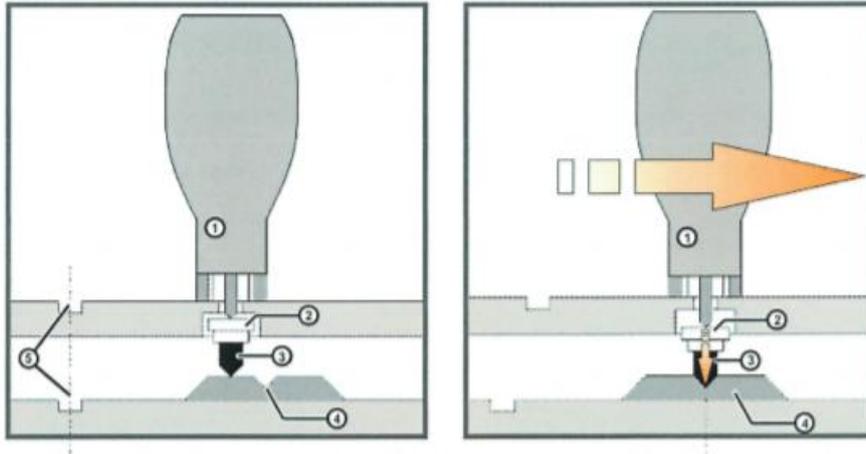


Figura 10: svolgimento della calibrazione EDM:

- | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 EMD (Electronic Mastering Device) | 4 Tacca di misura |
| 2 Cartuccia di misurazione | 5 Contrassegno di precalibrazione |
| 3 Spina di misurazione | |

Passi:

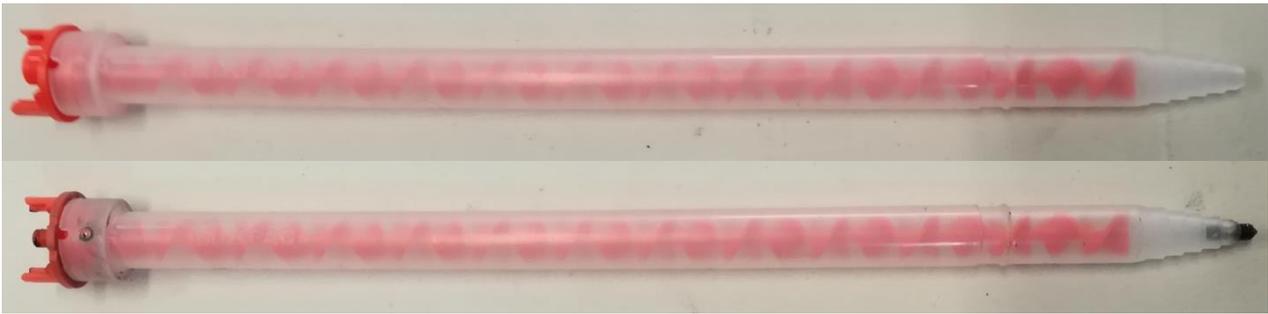
- Scalibrare gli assi (il robot tiene in memoria la calibrazione passata).
- Partendo da A1 (asse 1) a salire, eseguire i seguenti passi:
- Posizionare l'asse in maniera tale da essere a pari col riferimento.
- Montare la punta meccanica ed eseguire i collegamenti elettrici.
- Il PAD darà l'ok (due led verdi) per poter far partire la calibrazione.
- Premere Calibrazione e tenere premuto start (uomo morto inserito), finché non arriva a calibrazione (si sente uno scatto e si blocca la corsa in automatico).
- Procedere allo stesso modo con tutti gli assi.

Al termine della calibrazione gli assi saranno orientati nella seguente posizione di zero: 0/-90/90/0/0/0, come mostrato nella seguente figura:



Figura 11: posizione robot dopo la calibrazione

NB: la posizione 0/0/0/0/0/0 identifica la posizione stessa del robot che non è la posizione zero!



Il passo successivo è stata la **misurazione del TCP** (Tool Center Point) dell'utensile rispetto al riferimento dell'end effector del braccio robotico attraverso il **metodo XYZ a 4 Punti**. Questa importantissima procedura serve a calibrare e insegnare al robot dove sia il Tool Center Point (TCP) del utensile montato sull'end effector: senza lasciare nella memoria del robot i riferimenti corretti non si avrebbe la precisione desiderata nei vari movimenti.

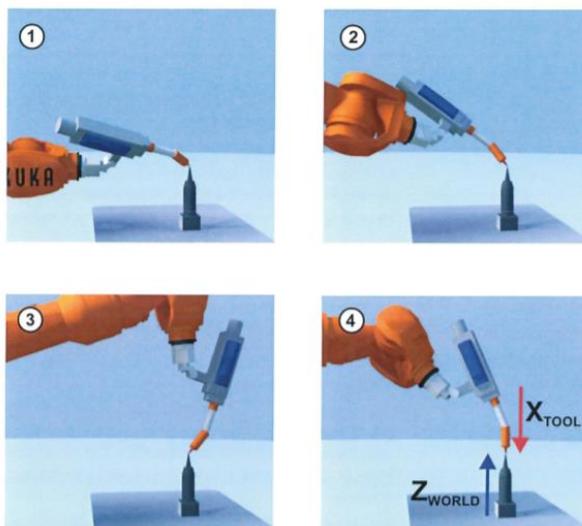
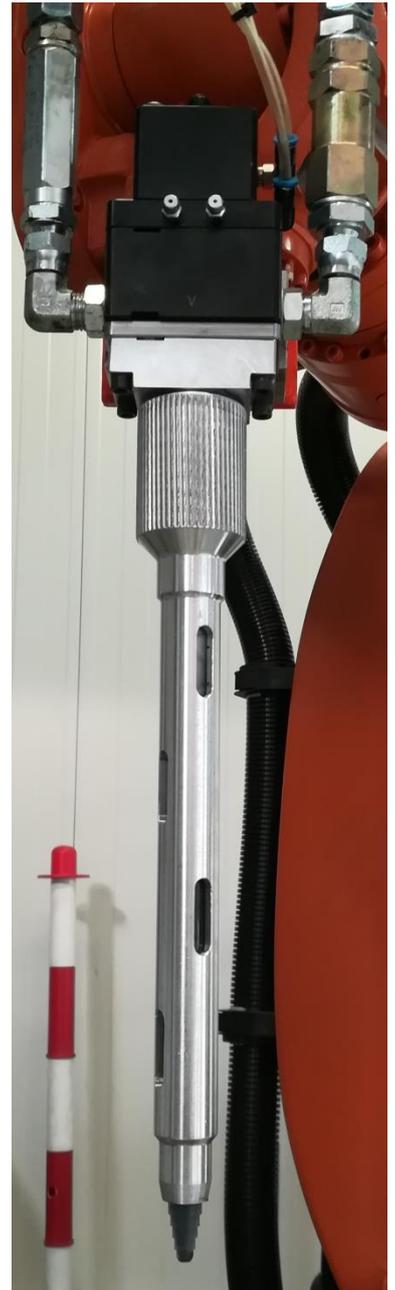


Figura 12: step misurazione TCP del Tool

Dopo aver selezionato dal menu Avviamento/Misurare/Utensile/XYZ a 4 punti:

- Assegnare un numero e un nome all'utensile da misurare (16 posti disponibili in memoria).
- Spostarsi col TCP su un punto di riferimento e salvare la posizione.
- Spostarsi col TCP sullo stesso punto di riferimento ma con un'altra direzione e salvare.

- Ripetere il punto precedente, in maniera tale da avere 4 posizionamenti diversi sullo stesso riferimento (solitamente l'ottimo per avere un errore di calcolo della misura del TCP accurato, è avere 3 posizioni a 120° tra loro leggermente inclinate sul punto e l'ultimo punto sulla verticale del riferimento)

In questo modo il robot calcola in automatico tutte le distanze e quindi la posizione del TCP e il suo sistema di riferimento, che nel nostro caso ha la Z in direzione verticale ma positiva verso il basso.

Poi sono passato alla **misurazione della base** del piano di lavoro. Questa base sarà un sistema di riferimento virtuale, che il robot immagazzinerà in memoria e che con cui potrà svolgere percorsi riferendosi alla base stessa. Per misurare la base si ricorre al **metodo a 3 punti**, che si effettua seguendo i seguenti step sulla pendant dopo aver selezionato il percorso Messa in servizio/Misurazione/Base/3-punti nel menù principale:

- Si seleziona l'utensile e quindi il Tool Center Point (TCP) con cui si vuole effettuare la misurazione.
- Si nomina la base e si sceglie lo slot di memoria su cui registrare la misura (32 posti disponibili).
- Si porta il TCP sull'origine della base.
- Si porta il TCP lungo l'asse X.
- Si porta il TCP lungo l'asse Y.

In questa maniera il robot calcola direttamente con la regola della mano destra dove è situato l'asse Z e il suo verso.

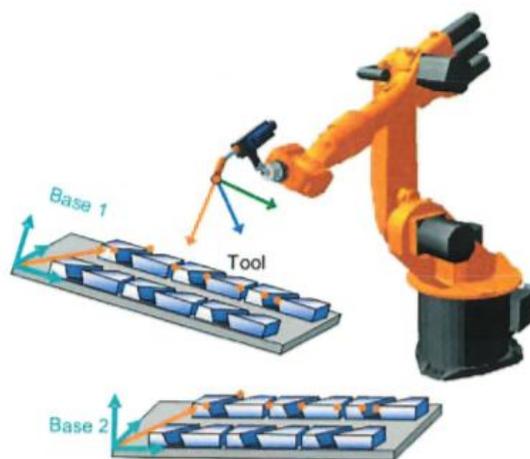


Figura 13: Vantaggi della misurazione della base: Utilizzo di più sistemi di coordinate base.

2.2. Programmazione traiettorie

La seconda parte della formazione ha riguardato la programmazione delle traiettorie del robot per poter percorrere certi tracciati con l'utensile finale, che sarebbe l'ugello che eroga il silicone. Il linguaggio di programmazione del robot è il **KRL (KUKA Robot Language)**. Questo linguaggio di programmazione permette di impartire al robot istruzioni di movimento attraverso *Fold*, stringhe di codice contenenti tutte le informazioni utili al robot per eseguire il movimento con le caratteristiche impartite.

In primo luogo si è proceduti a programmare le traiettorie sempre in modalità T1, ovvero manuale a velocità ridotta, utilizzando la semplice interfaccia grafica della SmartPAD. In questo modo si è sfruttata una programmazione "facilitata" che sfrutta righe di codice programmabili manualmente, che riassumono le fold, e soprattutto punti in Touch Up, ovvero depositati in memoria del robot posizionando il robot manualmente.

Appena aperto l'editor dei programmi ho creato una cartella su cui lavorare col nome "FILIPPO ANGELINI Programmi tirocinio" e ho creato un nuovo programma col tasto Nuovo situato in basso a sinistra dello SmartHMI. L'aspetto della visualizzazione dei vari programmi è la seguente:

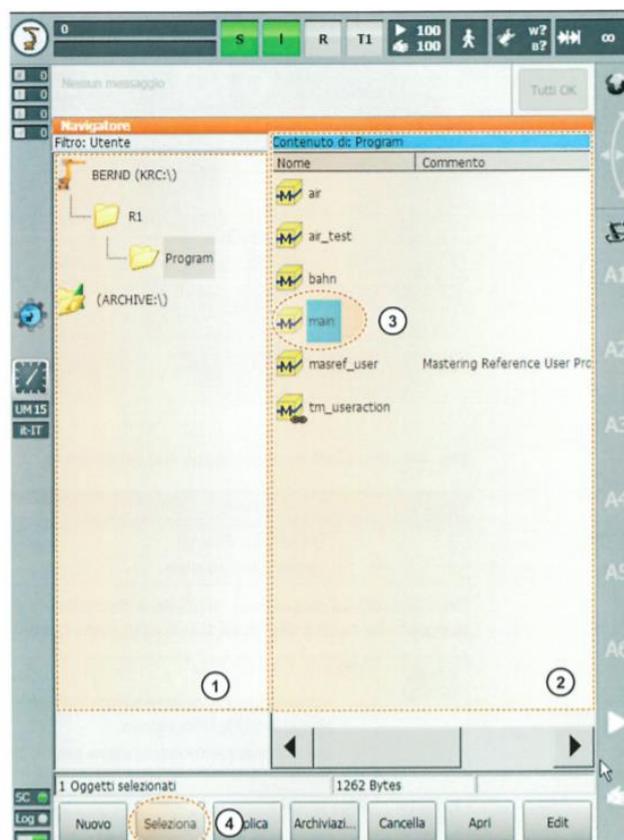


Figura 14: visualizzazione su SmartPAD dei programmi e selezione.

Un programma robot solitamente è composto da due file, uno di programma e uno di dati, nel quale vengono allocate le informazioni dei punti delle traiettorie, delle velocità, accelerazioni, etc. Come sono strutturati questi due file?

FILE SRC: contiene il codice programma

- “**DEF** nome programma()” sempre all’inizio del programma, definisce il nome del programma.
- “**INI**” riga che contiene interrogazioni sui parametri standard, deve essere sempre elaborata per prima.
- Parte centrale: vero e proprio testo del programma.
- “**END**” determina la fine del programma.

FILE DAT: contiene dati permanenti e coordinate di punti

- “**DEFDAT** nome programma()” per definire il file dati.
- Parte centrale: “**DECL**” per dichiarare i dati
- “**ENDDAT**” chiude il file di dati.

Nella programmazione come utente “Operatore” da SmartPAD è permesso solo la modifica dei file SCR, in maniera facilitata tramite un interfaccia molto semplice. Questo tipo di programmazione si chiama Programmazione **Inline**.

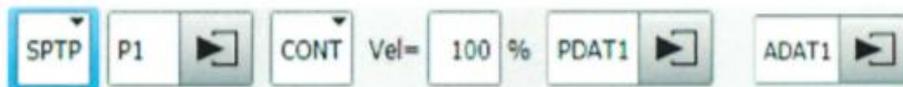


Figura 15: modulo inline per la programmazione di movimenti.

Alla selezione di nuovo programma tutte le istruzioni base sono già parte del testo del programma, infatti sono già presenti:

- la riga di definizione del programma “DEF nome programma()”
- la riga di inizializzazione “INI”
- la partenza dalla posizione di HOME
- l’arrivo in HOME
- la riga finale che chiude il programma: “END”

Quindi basta tramite i tasti sottostanti di istruzione, inserire nuove istruzioni tra le due istruzioni di “Homing”, ovvero istruzioni di movimento verso una posizione di partenza denominata HOME. Si possono inserire diversi tipi di funzioni di movimento, come si vede dall’esempio riportato di seguito.

```

1 DEF KUKA_Prog()
2
3 INI
4 SPTP HOME VEL= 100 % DEFAULT
5 SPTP P1 VEL= 100 % PDAT1 Tool[5] Base[10]
6 SPTP P2 VEL= 100 % PDAT1 Tool[5] Base[10]
7 SLIN P3 VEL= 1 m/s CPDAT1 Tool[5] Base[10]
8 SLIN P4 VEL= 1 m/s CPDAT2 Tool[5] Base[10]
9 SPTP P5 VEL= 100% PDAT1 Tool[5] Base[10]
10 SPTP HOME VEL= 100 % DEFAULT
11
12 END

```

Figura 16: esempio di programma di movimento del robot lungo una traiettoria

Nell'esempio si può notare che tutte le traiettorie sono state impostate con i riferimenti del Tool[5] e della Base[10]. Inoltre possiamo distinguere SPTP e SLIN: le prime sono movimenti punto a punto (Point to point), con velocità pari al 100% ovvero al massimo della potenzialità del robot; le seconde sono movimenti lineari del robot, con velocità che viene impostata su una scala di m/s. I vari tipi di movimento sono descritti meglio come segue.

Studiando e modificando questo programma si è notato che per avere una traiettoria formate con funzioni SPLINE, ovvero movimenti descritti da una S come iniziale (SLIN SPTP SCIRC), si è notato che se non si chiude il percorso con tutte funzione SPLINE il robot potrebbe non reagire come desiderato, effettuando dei bruschi cambi di accelerazione o arrestandosi in maniera non conforme al solito.

Istruzioni di movimento nella programmazione

Ci sono più tipologie di movimento. In particolare si distinguono in due tipologie: la prima è quella delle istruzioni precedute da una S (funzioni SPLINE), che significa che seguono una rampa di velocità sinusoidale, che può essere più ripida rispetto a una lineare, ma si prende più tempo per arrivare a regime quindi introduce un ritardo; la seconda è quella senza S, che hanno rampe di velocità lineari. Questa può essere la differenza principale tra una funzione SPTP e PTP. Per semplicità descriverò solo istruzioni del primo tipo.

- **SPTP: Point to Point**, movimenti riferiti agli **assi**. Il robot guida il TCP lungo il movimento più veloce fino al punto di destinazione, che spesso è una traiettoria curvilinea (il movimento più veloce non è per forza quello più corto, ovvero non è una retta). L'asse "guida" è l'asse che impiega il maggior tempo ad arrivare nel punto di destinazione. PTP

SYNCHRO: tutti gli assi si muovono e si arrestano insieme. Primo movimento deve essere per forza PTP, per valutare stato e turn.

Stato e turn sono due coordinate che caratterizzano la posizione del braccio per arrivare a quel punto di destinazione, in particolare in quale quadrante dello spazio di lavoro il robot si muove.

Una volta impostato il modo operativo T1 e selezionato il programma robot, si sposta il TCP sul punto di destinazione (che viene acquisito) e si seleziona la riga del codice in cui inserire l'istruzione di movimento. Infine si può inserire un modulo SPTP inline scritto nel seguente modo:

SPTP	P1	CONT	Vel=tot%	PDAT1	ADAT1
------	----	------	----------	-------	-------

Dove:

- P1: punto di destinazione.
- CONT: presente se il punto di destinazione viene approssimato (può esserci anche la casella vuota).
- Vel: da 0 a 100% per SPTP, da 0.001 a 2 m/s per SLIN.
- PDAT1: nome del record di dati del movimento.
- ADAT1: nome del record di dati con parametri logici.
- **CONT**: sta per "CONTINUO" e permette di approssimare le istruzioni di movimento SPTP per accelerare lo svolgimento del movimento stesso, rendendolo appunto continuo. Approssimazione significa che le coordinate dei punti non sono accostate in modo preciso. NB: il profilo di approssimazione non è prevedibile! PRO: cinematica ha un'usura minore (minor numero di frenate e accelerazioni durante il movimento); tempo di ciclo ottimizzato, quindi maggiore velocità di esecuzione. CONTRO: il TCP non arriva nel punto preciso, ma passa da un suo intorno per approssimare la traiettoria e renderla continua! Non utile in situazioni in cui si richiede un'elevata precisione.
- **SLIN** (lineare) e **SCIRC** (circolare): movimenti della **traiettoria**.
 - SLIN: movimento dritto lungo la traiettoria, il TCP dell'utensile viene guidato dalla partenza al punto di destinazione con velocità costante e orientamento definito (tutte e due riferite al TCP)
 - SCIRC: movimento lungo una traiettoria circolare definito da 3 punti, ovvero punto iniziale, intermedio e di destinazione. Velocità sempre costante e orientamento definito, tutto rispetto al TCP.

Se invece programmiamo in utente “Esperto”, che per poter selezionare occorre seguire il percorso Configurazione/Utente/Esperto e inserire la password KUKA, si può visualizzare anche il file DAT e modificare le coordinate dei punti con le seguenti funzioni:

- **POS e E6POS:** memorizza la posizione dell’utensile nello spazio. In particolare si definiscono posizione orientamento e posizione degli assi del braccio: POSIZIONE con X, Y, Z e ORIENTAMENTO con A, B, C oppure entrambi con A1, A2, ..., A6; ASSI con E1, E2, ..., E6 oppure con S e T (Stato e Turn).
- **FRAME:** stessa funzione del POS ed E6POS ma solo con posizione X, Y, Z e orientamento A, B, C
- **ORI_TYPE:** per impostare un controllo dell’orientamento in modo personalizzato.

Inoltre il file SCR, non presenterà più solo le righe riassuntive delle fold, ma tutto il contenuto, che richiama tutti i dati salvati nel file DAT e le impostazioni per i movimenti, cosa che per un utente Operatore non si poteva visualizzare.

Altro concetto importante è quello di corsa SAK (da Satzkoinzidenz, termine tedesco che significa “coincidenza frase”, coincidenza=conformità e concorso di eventi temporali/spaziali). Traiettorie di sicurezza che viene effettuata a velocità controllate se occorre:

- Selezionare un programma
- Reset del programma
- Procedura manuale di programmazione
- Modifica del programma.

Qui di seguito un esempio: il programma “prova1”, creato nella cartella “Prove_Filippo_Tirocinio”, programmato direttamente da pendant.

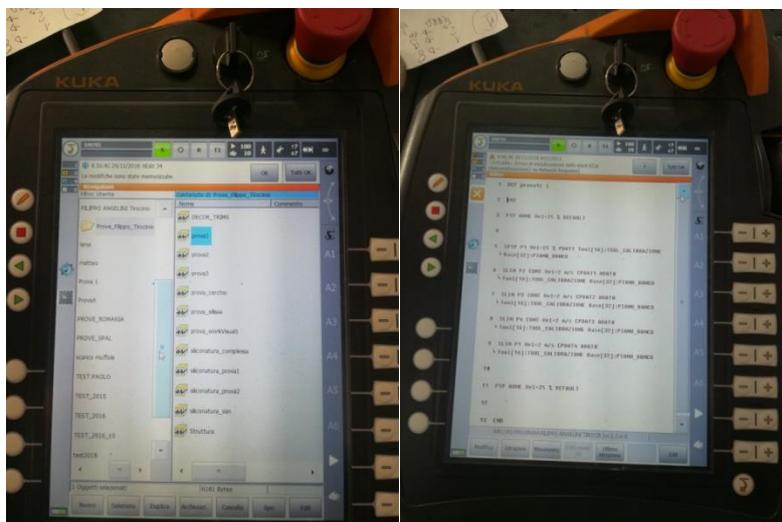


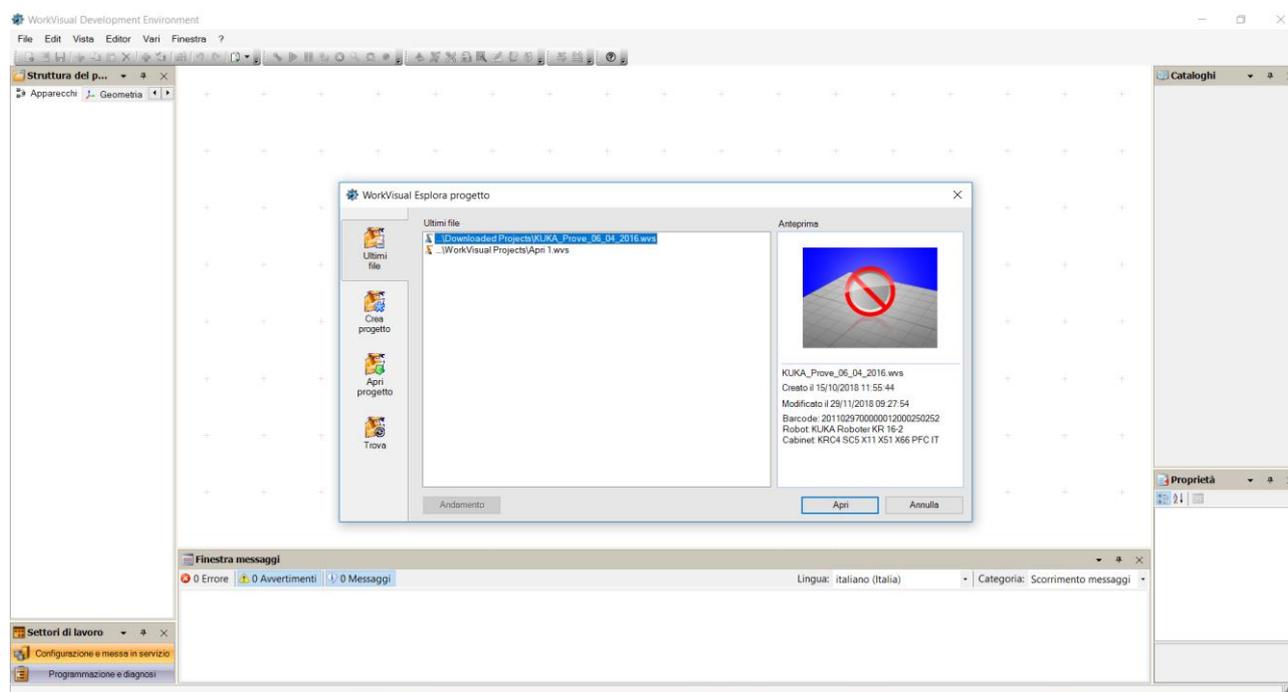
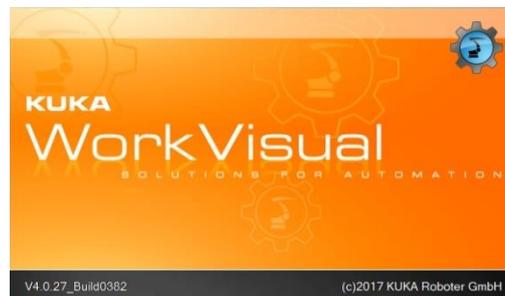
Figura 17: visualizzazione programma su SmartPAD.

WorkVisual

Nell'ultima fase della formazione si è proceduto a studiare la parte di programmazione offline, che si differenzia dalla programmazione on-line precedente con SmartPAD, con l'uso del programma WorkVisual direttamente da PC.

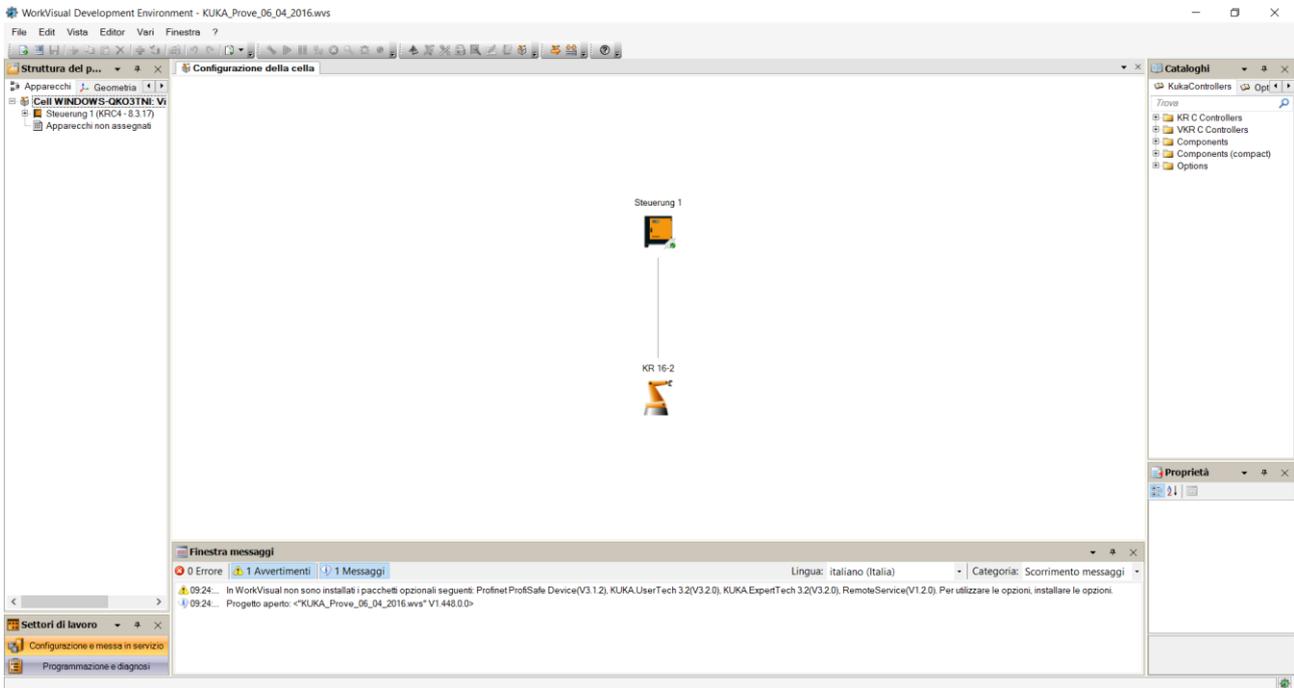
WorkVisual è l'interfaccia di controllo del robot tramite gestione del PLC. Necessita di collegamento con ProfiNET collegandosi all'IP statico del sistema con indirizzo 192.168.1.88 attraverso un cavo ethernet (per collegamento statico occorre che il PC abbia come indirizzo gli stessi primi tre numeri del codice, nel nostro caso abbiamo impostato 192.168.1.100). In questo modo direttamente da WorkVisual attraverso programmazione e diagnosi si possono caricare i collegamenti e tutti i programmi presenti nel PLC. In questo modo è possibile visualizzare i programmi in KRC Explorer che sono visualizzabili anche dalla pendant.

Una volta installato WorkVisual (versione 4.0.27) e aperto, l'interfaccia grafica che si apre è la seguente:

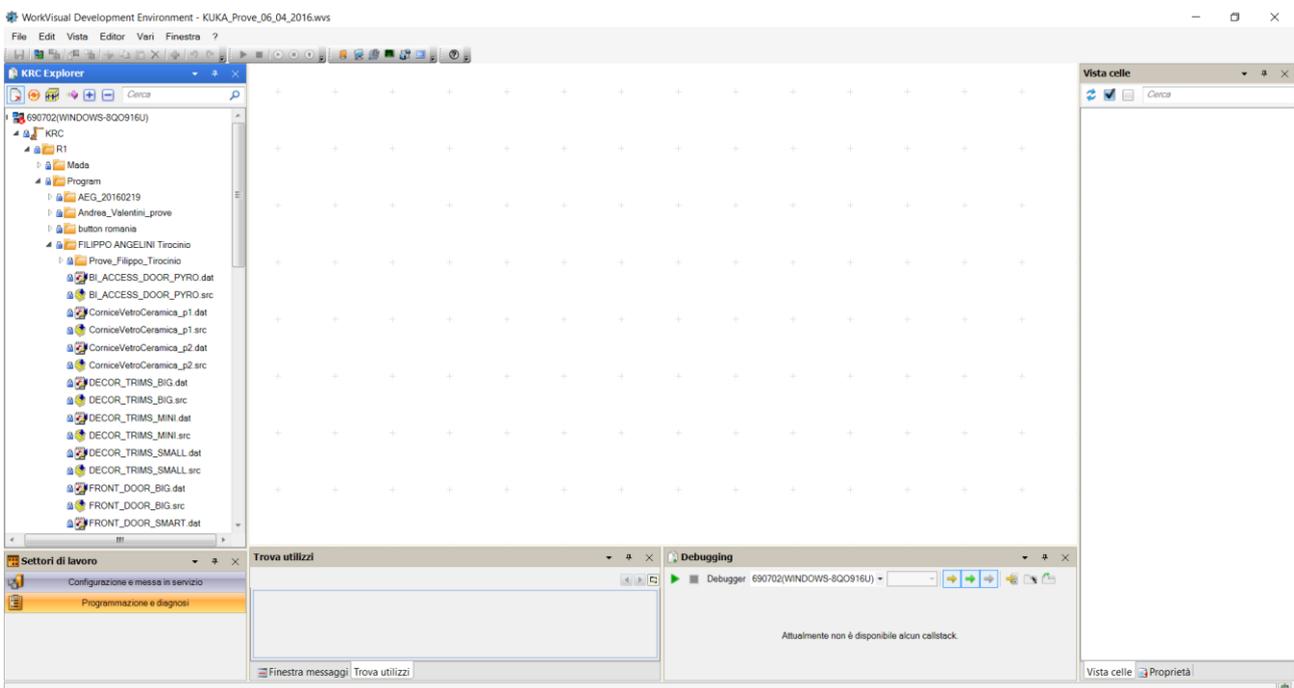


Nella finestra “WorkVisual Esplora progetto”, una volta effettuato il collegamento ProfiNET come spiegato precedentemente, bisogna selezionare “trova” (ultima voce nella colonna di sinistra), e selezionare la riga del robot KUKA nella finestra bianca. Cliccando due volte il PC scaricherà i programmi presenti sul PLC del robot, così saranno disponibili per le modifiche offline. La pagina

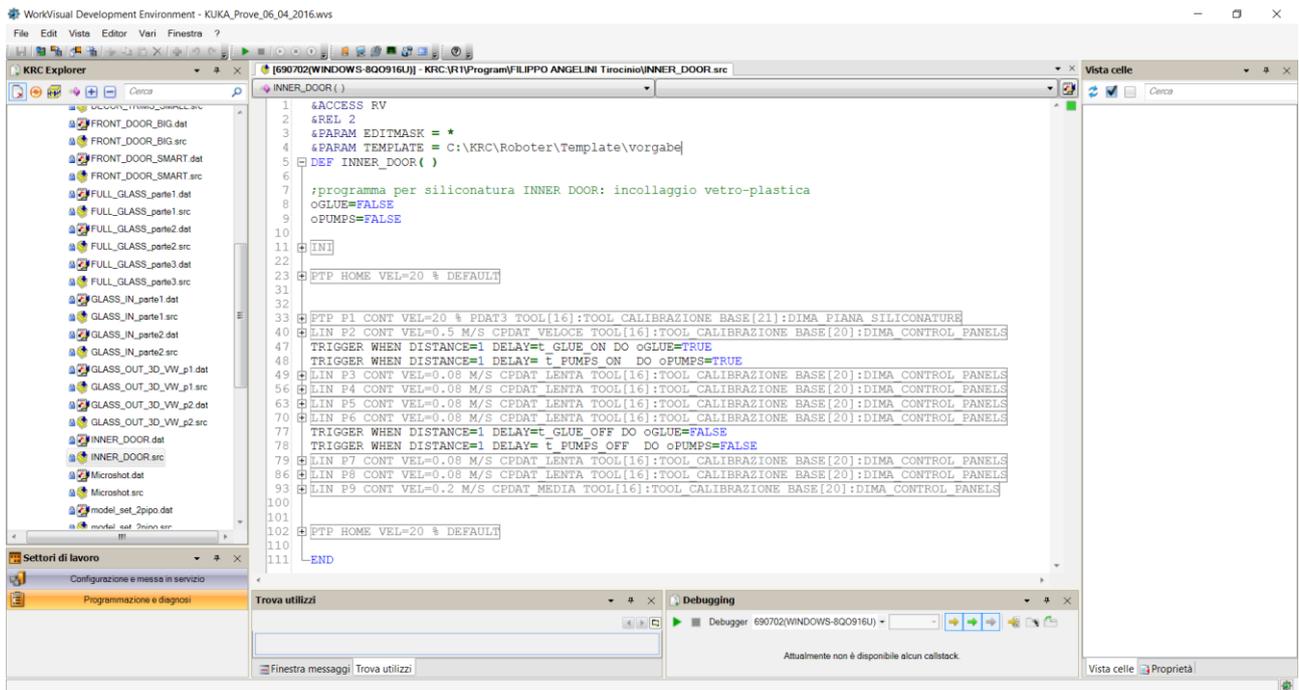
che si apre inizialmente è quella della configurazione della cella di lavoro formata dal robot. Come si vede dalla figura seguente per ora abbiamo solo un PLC che gestisce un unico braccio robotico.



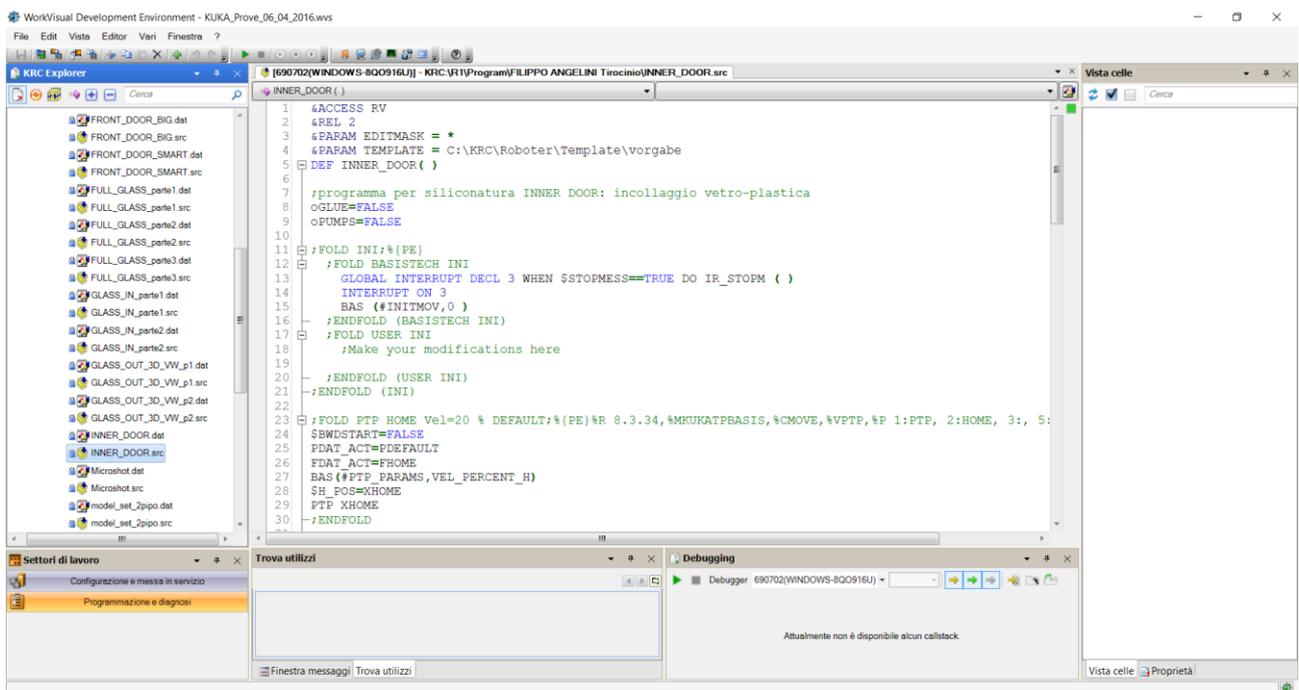
Successivamente si è passati ad aprire l'editor di programmazione per la gestione dei movimenti del manipolatore, cliccando in basso a sinistra sulla voce "Programmazione e diagnosi". Si apre così la finestra "KRC Explorer" che contiene tutte le cartelle dei programmi che sono stati salvati precedentemente sul PLC:

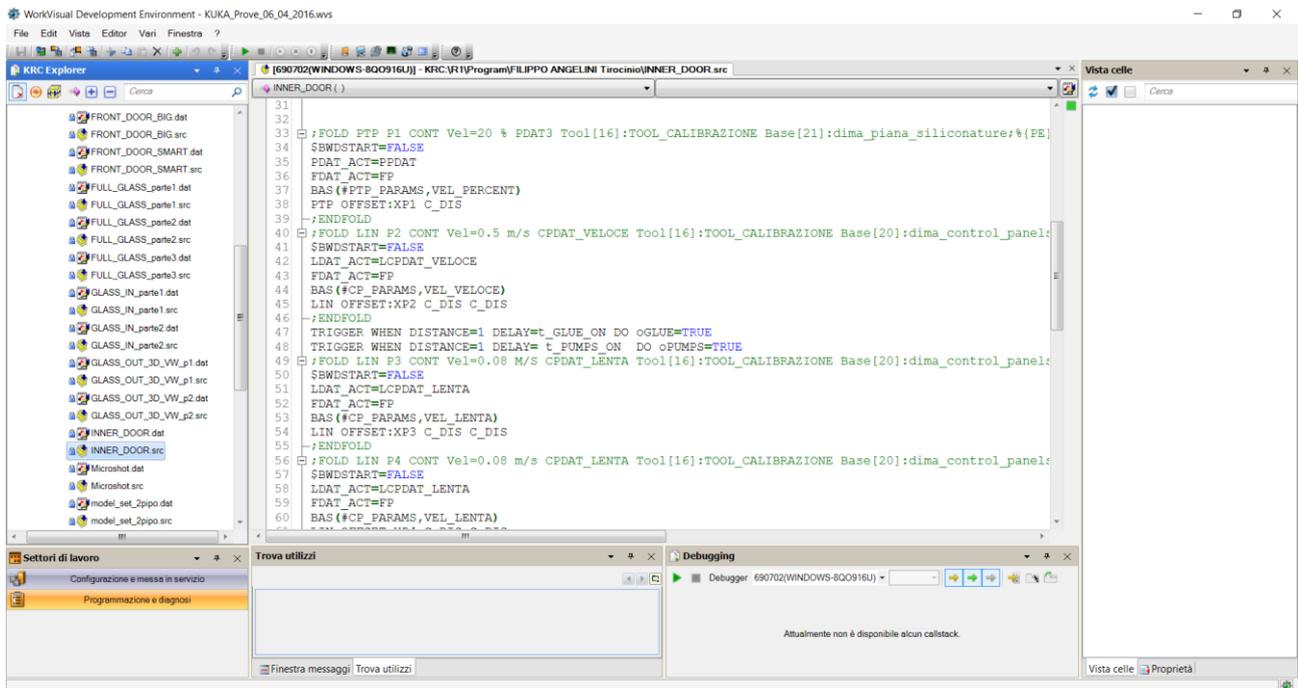


In questo esempio, ho selezionato il programma "INNER_DOOR.src" dove sono state scritte le righe di codice per realizzare la siliconatura di uno dei pezzi obiettivo finale del mio percorso.



Da come si può notare dalla figura, il programma viene inizializzato e in seguito impartisce al robot dei comandi di movimento, che faranno seguire all'ugello finale un profilo rettangolare, per poi tornare alla posizione di HOME. I movimenti sono riassunti in delle fold che sono riassunte dalle righe in grigio, che sono caratterizzate di essere precedute da un quadratino con un "+" all'interno. Se si clicca sul simbolo, è possibile aprire la fold e quindi visualizzare nell'intero il codice che permette al robot di adempierere a quella specifica funzione, come si evince dalle immagini seguenti:





È curioso quindi come poche righe di codice riassumano fold così dense di informazioni. In particolare si nota che il codice vero e proprio è contenuto all'interno delle fold, e quella riga grigia che si visualizzava a fold chiusa era un semplice commento (i commenti sono visualizzati col colore verde).

```

+ PTP P1 CONT VEL=20 % PDAT3 TOOL[16]:TOOL CALIBRAZIONE BASE[21]:DIMA PIANA SILICONATURE
+ LIN P2 CONT VEL=0.5 M/S CPDAT VELOCE TOOL[16]:TOOL CALIBRAZIONE BASE[20]:DIMA CONTROL PANELS
  TRIGGER WHEN DISTANCE=1 DELAY=t GLUE_ON DO oGLUE=TRUE
  TRIGGER WHEN DISTANCE=1 DELAY= t PUMPS_ON DO oPUMPS=TRUE
+ LIN P3 CONT VEL=0.08 M/S CPDAT LENTA TOOL[16]:TOOL CALIBRAZIONE BASE[20]:DIMA CONTROL PANELS

- ;FOLD PTP P1 CONT Vel=20 % PDAT3 Tool[16]:TOOL_CALIBRAZIONE Base[21]:dima_piana_siliconature;%(PE
  $BWDSTART=FALSE
  PDAT_ACT=PPDAT
  FDAT_ACT=FP
  BAS(#PTP_PARAMS,VEL_PERCENT)
  PTP OFFSET:XP1 C_DIS
-;ENDFOLD
- ;FOLD LIN P2 CONT Vel=0.5 m/s CPDAT_VELOCE Tool[16]:TOOL_CALIBRAZIONE Base[20]:dima_control_panel:
  $BWDSTART=FALSE
  LDAT_ACT=LCPDAT_VELOCE
  FDAT_ACT=FP
  BAS(#CP_PARAMS,VEL_VELOCE)
  LIN OFFSET:XP2 C_DIS C_DIS
-;ENDFOLD
  TRIGGER WHEN DISTANCE=1 DELAY=t GLUE_ON DO oGLUE=TRUE
  TRIGGER WHEN DISTANCE=1 DELAY= t PUMPS_ON DO oPUMPS=TRUE
- ;FOLD LIN P3 CONT Vel=0.08 M/S CPDAT_LENTA Tool[16]:TOOL_CALIBRAZIONE Base[20]:dima_control_panel:
  $BWDSTART=FALSE
  LDAT_ACT=LCPDAT_LENTA
  FDAT_ACT=FP
  BAS(#CP_PARAMS,VEL_LENTA)
  LIN OFFSET:XP3 C_DIS C_DIS
-;ENDFOLD

```

In una fold di movimento quindi è evidente che c'è sempre una routine da seguire nella programmazione, infatti in successione vengono richiamati:

- I dati di velocità, accelerazioni, inerzie, approssimazioni nel movimento.
- I dati di tool e base rispetto a cui si eseguisce il movimento.
- Il tipo di movimento, collegato al punto da raggiungere (nell'esempio è stato impostato anche un offset, che permette di cambiare rispetto alla base la posizione del punto attraverso un frame impostato nel file .dat).

Ecco di seguito il codice intero del file .src dell'esempio riportato precedentemente:

```
&ACCESS RV
&REL 2
&PARAM EDITMASK = *
&PARAM TEMPLATE = C:\KRC\Roboter\Template\vorgabe
DEF INNER_DOOR( )

;programma per siliconatura INNER DOOR: incollaggio vetro-plastica
oGLUE=FALSE
oPUMPS=FALSE

;FOLD INI;%{PE}
;FOLD BASISTECH INI
GLOBAL INTERRUPT DECL 3 WHEN $STOPMESS==TRUE DO IR_STOPM ( )
INTERRUPT ON 3
BAS (#INITMOV,0 )
;ENDFOLD (BASISTECH INI)
;FOLD USER INI
;Make your modifications here

;ENDFOLD (USER INI)
;ENDFOLD (INI)

;FOLD PTP HOME Vel=20 % DEFAULT;%{PE}%R 8.3.34,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P
1:PTP, 2:HOME, 3:, 5:50, 7:DEFAULT
$BWDSTART=FALSE
PDAT_ACT=PDEFAULT
FDAT_ACT=FHOME
BAS(#PTP_PARAMS,VEL_PERCENT_H)
$H_POS=XHOME
PTP XHOME
;ENDFOLD

;FOLD PTP P1 CONT Vel=20 % PDAT3 Tool[16]:TOOL_CALIBRAZIONE
Base[21]:dima_piana_siliconature;%{PE}%R 8.3.34,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P
1:PTP, 2:P14, 3:C_DIS, 5:20, 7:PDAT3
$BWDSTART=FALSE
PDAT_ACT=PPDAT
FDAT_ACT=FP
BAS(#PTP_PARAMS,VEL_PERCENT)
PTP OFFSET:XP1 C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD LIN P2 CONT Vel=0.5 m/s CPDAT_VELOCE Tool[16]:TOOL_CALIBRAZIONE
Base[20]:dima_control_panels;%{PE}%R 8.3.34,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN,
2:P2, 3:C_DIS C_DIS, 5:0.5, 7:CPDAT1
```

```

$BWDSTART=FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT_VELOCE
FDAT_ACT=FP
BAS(#CP_PARAMS,VEL_VELOCE)
LIN OFFSET:XP2 C_DIS C_DIS
;ENDFOLD
TRIGGER WHEN DISTANCE=1 DELAY=t_GLUE_ON DO oGLUE=TRUE
TRIGGER WHEN DISTANCE=1 DELAY= t_PUMPS_ON DO oPUMPS=TRUE
;FOLD LIN P3 CONT Vel=0.08 M/S CPDAT_LENTA Tool[16]:TOOL_CALIBRAZIONE
Base[20]:dima_control_panels;{%PE}%R 8.3.34,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P 1:LIN,
2:P3, 3:C_DIS, 5:50, 7:CPDAT2
$BWDSTART=FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT_LENTA
FDAT_ACT=FP
BAS(#CP_PARAMS,VEL_LENTA)
LIN OFFSET:XP3 C_DIS C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD LIN P4 CONT Vel=0.08 m/s CPDAT_LENTA Tool[16]:TOOL_CALIBRAZIONE
Base[20]:dima_control_panels;{%PE}%R 8.3.34,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN,
2:P4, 3:C_DIS C_DIS, 5:0.5, 7:CPDAT2
$BWDSTART=FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT_LENTA
FDAT_ACT=FP
BAS(#CP_PARAMS,VEL_LENTA)
LIN OFFSET:XP4 C_DIS C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD LIN P5 CONT Vel=0.08 m/s CPDAT_LENTA Tool[16]:TOOL_CALIBRAZIONE
Base[20]:dima_control_panels;{%PE}%R 8.3.34,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN,
2:P5, 3:C_DIS C_DIS, 5:0.5, 7:CPDAT3
$BWDSTART=FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT_LENTA
FDAT_ACT=FP
BAS(#CP_PARAMS,VEL_LENTA)
LIN OFFSET:XP5 C_DIS C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD LIN P6 CONT Vel=0.08 M/S CPDAT_LENTA Tool[16]:TOOL_CALIBRAZIONE
Base[20]:dima_control_panels;{%PE}%R 8.3.34,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P 1:LIN,
2:P3, 3:C_DIS, 5:50, 7:CPDAT2
$BWDSTART=FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT_LENTA
FDAT_ACT=FP
BAS(#CP_PARAMS,VEL_LENTA)
LIN OFFSET:XP6 C_DIS C_DIS
;ENDFOLD
TRIGGER WHEN DISTANCE=1 DELAY=t_GLUE_OFF DO oGLUE=FALSE
TRIGGER WHEN DISTANCE=1 DELAY= t_PUMPS_OFF DO oPUMPS=FALSE
;FOLD LIN P7 CONT Vel=0.08 M/S CPDAT_LENTA Tool[16]:TOOL_CALIBRAZIONE
Base[20]:dima_control_panels;{%PE}%R 8.3.34,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P 1:LIN,
2:P3, 3:C_DIS, 5:50, 7:CPDAT2
$BWDSTART=FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT_LENTA
FDAT_ACT=FP
BAS(#CP_PARAMS,VEL_LENTA)
LIN OFFSET:XP7 C_DIS C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD LIN P8 CONT VEL=0.08 M/S CPDAT_LENTA TOOL[16]:TOOL_CALIBRAZIONE
BASE[20]:DIMA_CONTROL_PANELS;{%PE}%R 8.3.34,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P 1:LIN,
2:P3, 3:C_DIS, 5:50, 7:CPDAT2
$BWDSTART=FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT_LENTA

```

```

FDAT_ACT=FP
BAS(#CP_PARAMS,VEL_LENTA)
LIN OFFSET:XP8 C_DIS C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD LIN P9 CONT Vel=0.2 M/S CPDAT_MEDIA Tool[16]:TOOL_CALIBRAZIONE
Base[20]:dima_control_panels;%{PE}%R 8.3.34,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P 1:LIN,
2:P3, 3:C_DIS, 5:50, 7:CPDAT2
$BWDSTART=FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT_MEDIA
FDAT_ACT=FP
BAS(#CP_PARAMS,VEL_MEDIA)
LIN OFFSET:XP9 C_DIS C_DIS
;ENDFOLD

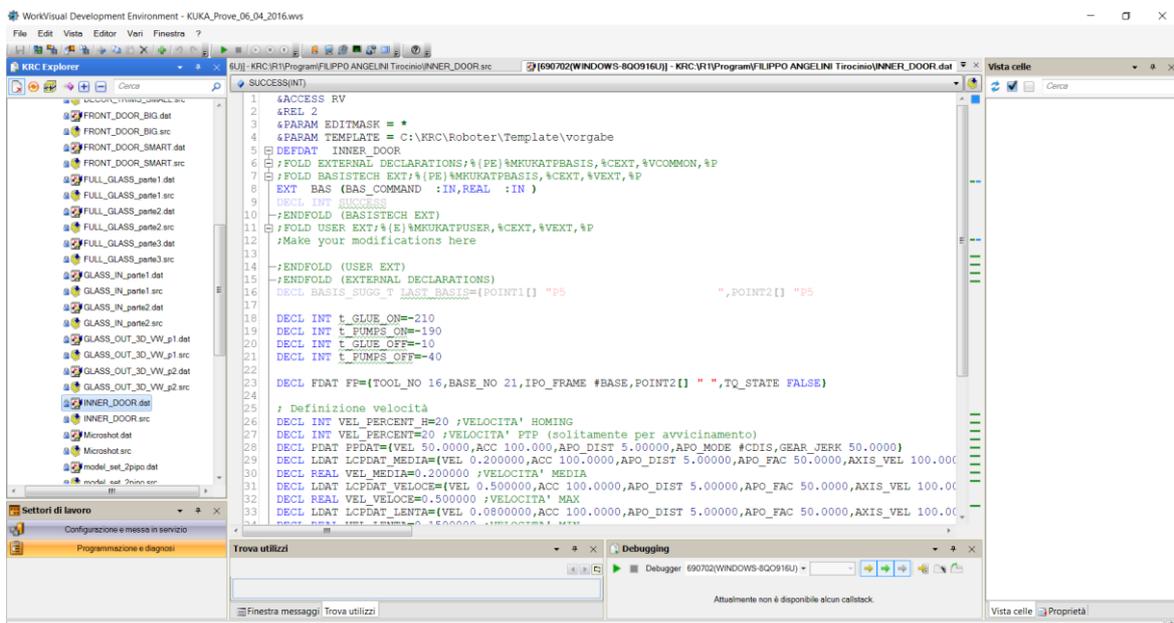
;FOLD PTP HOME Vel=20 % DEFAULT;%{PE}%R 8.3.34,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P
1:PTP, 2:HOME, 3:, 5:50, 7:DEFAULT
$BWDSTART=FALSE
PDAT_ACT=PDEFAULT
FDAT_ACT=FHOME
BAS(#PTP_PARAMS,VEL_PERCENT_H)
$H_POS=XHOME
PTP XHOME
;ENDFOLD

END

```

Quindi la strategia utilizzata per programmare in questo caso è stata quella di creare diverse fold per i diversi tipi di movimento (rettilineo e circolare ad esempio) e poi riutilizzarle facendo copia e incolla, modificando i dati che caratterizzano il caso particolare. Inoltre se il percorso è lo stesso, il file src può anche rimanere invariato anche per due programmi .src diversi, l'importante poi è modificare i punti a cui si riferiscono nei rispettivi file .dat.

I file .dat si visualizzano come segue:



Si può notare che dopo alcune istruzioni iniziali di inizializzazione del file, vengono impostati tutti i dati sensibili per i giusti riferimenti. Inoltre la funzione che permette di dichiarare una variabile o un tipo di dato è “**DECL**”.

Di seguito è riportato il codice del file .dat dell’esempio in questione:

```

&ACCESS RV
&REL 2
&PARAM EDITMASK = *
&PARAM TEMPLATE = C:\KRC\Roboter\Template\vorgabe
DEFDAT INNER_DOOR
;FOLD EXTERNAL DECLARATIONS;{%PE}%MKUKATPBASIS,%CEXT,%VCOMMON,%P
;FOLD BASISTECH EXT;{%PE}%MKUKATPBASIS,%CEXT,%VEXT,%P
EXT BAS (BAS_COMMAND :IN,REAL :IN )
DECL INT SUCCESS
;ENDFOLD (BASISTECH EXT)
;FOLD USER EXT;{%E}%MKUKATPUSER,%CEXT,%VEXT,%P
;Make your modifications here

;ENDFOLD (USER EXT)
;ENDFOLD (EXTERNAL DECLARATIONS)
DECL BASIS_SUGG_T
LAST_BASIS={POINT1[] "P5
",CP_PARAMS[] "CPDAT3
,CONT[] "C_DIS
C_DIS
",CP_VEL[] "0.5
",SYNC_PARAMS[] "SYNCDAT
",A_PARAMS[] "ADAT0
",POINT2[] "P5
",PTP_PARAMS[] "PDAT2
",PTP_VEL[] "50
",SPL_NAME[] "S0
"}

DECL INT t_GLUE_ON=-210
DECL INT t_PUMPS_ON=-190
DECL INT t_GLUE_OFF=-10
DECL INT t_PUMPS_OFF=-40

DECL FDAT FP={TOOL_NO 16,BASE_NO 21,IPO_FRAME #BASE,POINT2[] " ",TQ_STATE FALSE}

; Definizione velocità
DECL INT VEL_PERCENT_H=20 ;VELOCITÁ HOMING
DECL INT VEL_PERCENT=20 ;VELOCITÁ PTP (solitamente per avvicinamento)
DECL PDAT PPDAT={VEL 50.0000,ACC 100.000,APO_DIST 5.00000,APO_MODE
#CDIS,GEAR_JERK 50.0000}
DECL LDAT
LCPDAT_MEDIA={VEL 0.200000,ACC 100.0000,APO_DIST 5.00000,APO_FAC 50.0000,AXIS_VEL
100.000,AXIS_ACC 100.000,ORI_TYP #VAR,CIRC_TYP
#BASE,JERK_FAC 50.0000,GEAR_JERK 50.0000,EXAX_IGN 0}
DECL REAL VEL_MEDIA=0.200000 ;VELOCITÁ MEDIA
DECL LDAT
LCPDAT_VELOCE={VEL 0.500000,ACC 100.0000,APO_DIST 5.00000,APO_FAC 50.0000,AXIS_VE
L 100.000,AXIS_ACC 100.000,ORI_TYP #VAR,CIRC_TYP
#BASE,JERK_FAC 50.0000,GEAR_JERK 50.0000,EXAX_IGN 0}
DECL REAL VEL_VELOCE=0.500000 ;VELOCITÁ MAX

```

```

DECL LDAT
LCPDAT_LENTA={VEL 0.080000,ACC 100.0000,APO_DIST 5.00000,APO_FAC 50.0000,AXIS_VE
L 100.000,AXIS_ACC 100.000,ORI_TYP #VAR,CIRC_TYP
#BASE,JERK_FAC 50.0000,GEAR_JERK 50.0000,EXAX_IGN 0}
DECL REAL VEL_LENTA=0.150000 ;VELOCITÁ MIN

DECL E6POS XP1={X 157.000,Y 200.000,Z 70.0000,A 90.0000,B 0.0,C 180.000,S 2,T 2,E
1 0.0,E2 0.0,E3 0.0,E4 0.0,E5 0.0,E6 0.0}
DECL E6POS XP2={X 157.000,Y 200.000,Z 4.00000,A 90.0000,B 0.0,C 180.000,S 2,T 2,E
1 0.0,E2 0.0,E3 0.0,E4 0.0,E5 0.0,E6 0.0}
DECL E6POS XP3={X 157.000,Y 151.000,Z 4.00000,A 90.0000,B 0.0,C 180.000,S 2,T 2,E
1 0.0,E2 0.0,E3 0.0,E4 0.0,E5 0.0,E6 0.0}
DECL E6POS XP4={X 591.000,Y 151.000,Z 4.00000,A 90.0000,B 0.0,C 180.000,S 2,T 35,
E1 0.0,E2 0.0,E3 0.0,E4 0.0,E5 0.0,E6 0.0}
DECL E6POS XP5={X 591.000,Y 315.000,Z 4.00000,A 90.0000,B 0.0,C 180.000,S 2,T 35,
E1 0.0,E2 0.0,E3 0.0,E4 0.0,E5 0.0,E6 0.0}
DECL E6POS XP6={X 157.000,Y 315.000,Z 4.00000,A 90.0000,B 0.0,C 180.000,S 2,T 2,E
1 0.0,E2 0.0,E3 0.0,E4 0.0,E5 0.0,E6 0.0}
DECL E6POS XP7={X 157.000,Y 151.000,Z 4.00000,A 90.0000,B 0.0,C 180.000,S 2,T 2,E
1 0.0,E2 0.0,E3 0.0,E4 0.0,E5 0.0,E6 0.0}
DECL E6POS XP8={X 200.000,Y 151.000,Z 5.00000,A 90.0000,B 0.0,C 180.000,S 2,T 2,E
1 0.0,E2 0.0,E3 0.0,E4 0.0,E5 0.0,E6 0.0}
DECL E6POS XP9={X 200.000,Y 151.000,Z 50.0000,A 90.0000,B 0.0,C 180.000,S 2,T 2,E
1 0.0,E2 0.0,E3 0.0,E4 0.0,E5 0.0,E6 0.0}

DECL frame OFFSET = {X 0, Y 0, Z -1, A 0, B 0, C 0}

ENDDAT

```

Una caratteristica molto comoda di questo linguaggio di programmazione è la colorazione del codice a seconda del tipo di informazione che è stata scritta. Infatti vengono scritti:

- I numeri in **blu**.
- I commenti in **verde**.
- Le funzioni predefinite di WorkVisual come **DECL**, **DEF**, **END**, **DEFDAT**, **ENDDAT** sono in **azzurro**; inoltre in azzurro ci sono anche le tipologie di variabili (**INT**, **REAL**,...) e le assegnazioni **TRUE** o **FALSE** delle variabili booleane.
- Gli errori rilevati da WorkVisual come ad esempio quando si richiama una variabile non definita sono in **rosso**.
- Per concludere, nel file **.dat**, le righe contenenti dichiarazioni di variabili non utilizzate nel rispettivo file **.src**, sono in **grigio**.

Questo tipo di scrittura sembra inutile, ma è molto importante al momento di debugging, se qualcosa non funziona nel codice!

Vantaggi e svantaggi della programmazione

Come si evince dal capitolo, ci sono alcune differenze sostanziali nei due tipi di programmazione.

In primo luogo la programmazione tramite pendant risulta molto più semplice e facilitata, in quanto permette l'inserimento delle fold di movimento in maniera molto più intuitiva, però a discapito della ripetibilità dell'inserimento (occorre ripetere sempre le stesse istruzioni per inserire ogni movimento) e della precisione nell'inserimento dei dati. Questi dati vengono registrati direttamente nel file .dat durante la programmazione dei movimenti con le fold predefinite e non possono essere modificati se non con accesso "utente esperto".

In secondo luogo la programmazione con software WorkVisual è sicuramente più completa, ma anche più complessa perché necessita la gestione di molteplici righe di codice. Con questo secondo metodo di programmazione sono favoriti i concetti di riutilizzabilità dei codici e di flessibilità degli stessi per altre tipologie di modelli. Le fold in WorkVisual vengono visualizzate in maniera completa sul software del PC e possono essere modificate in maniera molto più efficace. I vantaggi principali sono i seguenti:

- **RIUTILIZZABILITÀ di gruppi di fold**: Questo punto è fondamentale per la programmazione di nuovi modelli. Infatti possono essere creati gruppi di fold che permettono di muovere il robot secondo percorsi raffiguranti figure geometriche specifiche come quadrati o cerchi ad esempio. Queste figure possono essere facilmente replicabili in altri modelli, magari semplicemente cambiando i parametri delle figure geometriche del percorso, lavorando sul semplice file .dat, e cambiando quindi solamente i dati dei punti da raggiungere (appresi tramite touch up, oppure inserimento numerico dopo opportune misurazioni).

Esempio: Gruppo di fold che permette il deposito di una semplice linea di silicone. Il seguente è un estratto di codice che serviva a realizzare una linea da 4 mm nella parte sinistra del gruppo PYRO BI Access Door.

```
;linea 4 mm sx

;FOLD LIN P20 CONT Vel=0.5 m/s CPDAT_VELOCE Tool[16]:TOOL_CALIBRAZIONE Base[22]:dima_pyro;{%PE}%R
8.3.34,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P2, 3:C_DIS C_DIS, 5:0.5, 7:CPDAT1
$BWDSTART=FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT_VELOCE
FDAT_ACT=FP
BAS(#CP_PARAMS,VEL_VELOCE)
LIN OffsetTrack:XP20 C_DIS C_DIS
```

```

;ENDFOLD
;FOLD LIN P21 CONT Vel=0.5 m/s CPDAT_VELOCE Tool[16]:TOOL_CALIBRAZIONE Base[22]:dima_pyro;{%PE}%R
8.3.34,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P2, 3:C_DIS C_DIS, 5:0.5, 7:CPDAT1
$BWDSTART=FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT_VELOCE
FDAT_ACT=FP
BAS(#CP_PARAMS,VEL_VELOCE)
LIN OffsetTrack:XP21 C_DIS C_DIS
;ENDFOLD
TRIGGER WHEN DISTANCE=1 DELAY=t_GLUE_ON DO oGLUE=TRUE
TRIGGER WHEN DISTANCE=1 DELAY= t_PUMPS_ON DO oPUMPS=TRUE
;FOLD LIN P22 CONT Vel=0.05 M/S CPDAT_LENTA Tool[16]:TOOL_CALIBRAZIONE Base[22]:dima_pyro;{%PE}%R
8.3.34,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P 1:LIN, 2:P3, 3:C_DIS, 5:50, 7:CPDAT2
$BWDSTART=FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT_LENTA
FDAT_ACT=FP
BAS(#CP_PARAMS,VEL_LENTA)
LIN OffsetTrack:XP22 C_DIS C_DIS
;ENDFOLD
TRIGGER WHEN DISTANCE=1 DELAY=t_GLUE_OFF DO oGLUE=FALSE
TRIGGER WHEN DISTANCE=1 DELAY= t_PUMPS_OFF DO oPUMPS=FALSE
;FOLD LIN P23 CONT Vel=0.05 M/S CPDAT_LENTA Tool[16]:TOOL_CALIBRAZIONE Base[22]:dima_pyro;{%PE}%R
8.3.34,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P 1:LIN, 2:P3, 3:C_DIS, 5:50, 7:CPDAT2
$BWDSTART=FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT_LENTA
FDAT_ACT=FP
BAS(#CP_PARAMS,VEL_LENTA)
LIN OffsetTrack:XP23 C_DIS C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD LIN P24 CONT VEL=0.05 M/S CPDAT_LENTA TOOL[16]:TOOL_CALIBRAZIONE BASE[22]:dima_pyro;{%PE}%R
8.3.34,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P 1:LIN, 2:P3, 3:C_DIS, 5:50, 7:CPDAT2
$BWDSTART=FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT_LENTA
FDAT_ACT=FP
BAS(#CP_PARAMS,VEL_LENTA)
LIN OffsetTrack:XP24 C_DIS C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD LIN P25 CONT Vel=0.5 m/s CPDAT_MEDIA Tool[16]:TOOL_CALIBRAZIONE Base[22]:dima_pyro;{%PE}%R
8.3.34,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P2, 3:C_DIS C_DIS, 5:0.5, 7:CPDAT1
$BWDSTART=FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT_MEDIA
FDAT_ACT=FP
BAS(#CP_PARAMS,VEL_MEDIA)
LIN OffsetTrack:XP25 C_DIS C_DIS
;ENDFOLD

```

Come si evince da questi gruppi fold, si hanno numerosi movimenti anche solo per potere eseguire una linea di siliconatura. Chiudendo le fold si può distinguere meglio la tipologia di movimento:

```

188 | ;linea 4 mm sx
189 |
190 | + LIN P20 CONT VEL=0.5 M/S CPDAT VELOCE TOOL[16]:TOOL_CALIBRAZIONE BASE[22]:DIMA_PYRO
197 | + LIN P21 CONT VEL=0.5 M/S CPDAT VELOCE TOOL[16]:TOOL_CALIBRAZIONE BASE[22]:DIMA_PYRO
204 | TRIGGER WHEN DISTANCE=1 DELAY=t_GLUE_ON DO oGLUE=TRUE
205 | TRIGGER WHEN DISTANCE=1 DELAY= t PUMPS ON DO oPUMPS=TRUE
206 | + LIN P22 CONT VEL=0.05 M/S CPDAT LENTA TOOL[16]:TOOL_CALIBRAZIONE BASE[22]:DIMA_PYRO
213 | TRIGGER WHEN DISTANCE=1 DELAY=t_GLUE_OFF DO oGLUE=FALSE
214 | TRIGGER WHEN DISTANCE=1 DELAY= t PUMPS OFF DO oPUMPS=FALSE
215 | + LIN P23 CONT VEL=0.05 M/S CPDAT LENTA TOOL[16]:TOOL_CALIBRAZIONE BASE[22]:DIMA_PYRO
222 | + LIN P24 CONT VEL=0.05 M/S CPDAT LENTA TOOL[16]:TOOL_CALIBRAZIONE BASE[22]:DIMA_PYRO
229 | + LIN P25 CONT VEL=0.5 M/S CPDAT MEDIA TOOL[16]:TOOL_CALIBRAZIONE BASE[22]:DIMA_PYRO
236 |

```

Come si vede dall'immagine, per creare una linea bisogna sempre eseguire una serie di movimenti:

1. Movimentare l'ugello per portarlo in prossimità del piano di lavoro.
2. Fargli compiere un movimento di rincorsa per arrivare al punto di erogazione con una certa velocità, evitando un deposito eccessivo di silicone nel punto di partenza del percorso di siliconatura.
3. Eseguire il percorso.
4. Chiudere il percorso, con due movimenti: uno di arretramento sulla linea e uno di alzata per concedere il distacco della bava sul percorso di silicone stesso e impedire così sbavature nella siliconatura.

Questa tipologia di linea è stata sfruttata anche in altri programmi, semplicemente modificando i punti sul piano di lavoro per il nuovo pezzo. Da notare che i movimenti sono tutti del tipo LIN e quindi movimenti di tipo lineare.

Un altro esempio può essere quello di un'altra figura geometrica: un rettangolo, sempre utilizzato per lo stesso modello (PYRO BI Access Door).

```

;rettangolo sx

;FOLD LIN P26 CONT Vel=0.5 M/S CPDAT_VELOCE Tool[16]:TOOL_CALIBRAZIONE Base[22]:dima_pyro;{%PE}%R
8.3.34,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P 1:LIN, 2:P3, 3:C_DIS, 5:50, 7:CPDAT2
$BWDSTART=FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT_VELOCE
FDAT_ACT=FP
BAS(#CP_PARAMS,VEL_VELOCE)
LIN OffsetTrack:XP26 C_DIS C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD LIN P27 CONT Vel=0.5 m/s CPDAT_VELOCE Tool[16]:TOOL_CALIBRAZIONE Base[22]:dima_pyro;{%PE}%R
8.3.34,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P2, 3:C_DIS C_DIS, 5:0.5, 7:CPDAT1

```

```

$BWDSTART=FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT_VELOCE
FDAT_ACT=FP
BAS(#CP_PARAMS,VEL_VELOCE)
LIN OffsetTrack:XP27 C_DIS C_DIS
;ENDFOLD
TRIGGER WHEN DISTANCE=1 DELAY=t_GLUE_ON DO oGLUE=TRUE
TRIGGER WHEN DISTANCE=1 DELAY= t_PUMPS_ON DO oPUMPS=TRUE
;FOLD LIN P28 CONT Vel=0.05 M/S CPDAT_LENTA Tool[16]:TOOL_CALIBRAZIONE Base[22]:dima_pyro;{%PE}%R
8.3.34,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P 1:LIN, 2:P3, 3:C_DIS, 5:50, 7:CPDAT2
$BWDSTART=FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT_LENTA
FDAT_ACT=FP
BAS(#CP_PARAMS,VEL_LENTA)
LIN OffsetTrack:XP28 C_DIS C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD LIN P29 CONT Vel=0.05 m/s CPDAT_LENTA Tool[16]:TOOL_CALIBRAZIONE Base[22]:dima_pyro;{%PE}%R
8.3.34,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P4, 3:C_DIS C_DIS, 5:0.5, 7:CPDAT2
$BWDSTART=FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT_LENTA
FDAT_ACT=FP
BAS(#CP_PARAMS,VEL_LENTA)
LIN OffsetTrack:XP29 C_DIS C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD LIN P30 CONT Vel=0.05 m/s CPDAT_LENTA Tool[16]:TOOL_CALIBRAZIONE Base[22]:dima_pyro;{%PE}%R
8.3.34,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VLIN,%P 1:LIN, 2:P4, 3:C_DIS C_DIS, 5:0.5, 7:CPDAT2
$BWDSTART=FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT_LENTA
FDAT_ACT=FP
BAS(#CP_PARAMS,VEL_LENTA)
LIN OffsetTrack:XP30 C_DIS C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD LIN P31 CONT Vel=0.05 M/S CPDAT_LENTA Tool[16]:TOOL_CALIBRAZIONE Base[22]:dima_pyro;{%PE}%R
8.3.34,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P 1:LIN, 2:P3, 3:C_DIS, 5:50, 7:CPDAT2
$BWDSTART=FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT_LENTA
FDAT_ACT=FP
BAS(#CP_PARAMS,VEL_LENTA)
LIN OffsetTrack:XP31 C_DIS C_DIS
;ENDFOLD
TRIGGER WHEN DISTANCE=1 DELAY=t_GLUE_OFF DO oGLUE=FALSE
TRIGGER WHEN DISTANCE=1 DELAY= t_PUMPS_OFF DO oPUMPS=FALSE
;FOLD LIN P32 CONT Vel=0.05 M/S CPDAT_LENTA Tool[16]:TOOL_CALIBRAZIONE Base[22]:dima_pyro;{%PE}%R
8.3.34,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P 1:LIN, 2:P3, 3:C_DIS, 5:50, 7:CPDAT2
$BWDSTART=FALSE

```

```

LDAT_ACT=LCPDAT_LENTA
FDAT_ACT=FP
BAS(#CP_PARAMS,VEL_LENTA)
LIN OffsetTrack:XP32 C_DIS C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD LIN P33 CONT VEL=0.05 M/S CPDAT_LENTA TOOL[16]:TOOL_CALIBRAZIONE BASE[22]:dima_pyro;{%PE}%R
8.3.34,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P 1:LIN, 2:P3, 3:C_DIS, 5:50, 7:CPDAT2
$BWDSTART=FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT_LENTA
FDAT_ACT=FP
BAS(#CP_PARAMS,VEL_LENTA)
LIN OffsetTrack:XP33 C_DIS C_DIS
;ENDFOLD
;FOLD LIN P34 CONT Vel=0.2 M/S CPDAT_MEDIA Tool[16]:TOOL_CALIBRAZIONE Base[22]:dima_pyro;{%PE}%R
8.3.34,%MKUKATPBASIS,%CMOVE,%VPTP,%P 1:LIN, 2:P3, 3:C_DIS, 5:50, 7:CPDAT2
$BWDSTART=FALSE
LDAT_ACT=LCPDAT_MEDIA
FDAT_ACT=FP
BAS(#CP_PARAMS,VEL_MEDIA)
LIN OffsetTrack:XP34 C_DIS C_DIS
;ENDFOLD

```

Chiudendo le fold si nota che a differenza di prima ci sono più movimenti all'interno dei due comandi di erogazione del silicone (comando TRIGGER che verrà spiegato in maniera più approfondita nel paragrafo "Controllo del sistema di erogazione del silicone", capitolo 2.4). Questi sono movimenti che rappresentano le linee percorse dall'ugello per raggiungere i 4 vertici del rettangolo che si deve realizzare.

```

237 ;rettangolo sx
238
239 + LIN P26 CONT VEL=0.5 M/S CPDAT VELOCE TOOL[16]:TOOL_CALIBRAZIONE BASE[22]:DIMA PYRO
246 + LIN P27 CONT VEL=0.5 M/S CPDAT VELOCE TOOL[16]:TOOL_CALIBRAZIONE BASE[22]:DIMA PYRO
253 TRIGGER WHEN DISTANCE=1 DELAY=t GLUE ON DO oGLUE=TRUE
254 TRIGGER WHEN DISTANCE=1 DELAY= t PUMPS ON DO oPUMPS=TRUE
255 + LIN P28 CONT VEL=0.05 M/S CPDAT LENTA TOOL[16]:TOOL_CALIBRAZIONE BASE[22]:DIMA PYRO
262 + LIN P29 CONT VEL=0.05 M/S CPDAT LENTA TOOL[16]:TOOL_CALIBRAZIONE BASE[22]:DIMA PYRO
269 + LIN P30 CONT VEL=0.05 M/S CPDAT LENTA TOOL[16]:TOOL_CALIBRAZIONE BASE[22]:DIMA PYRO
276 + LIN P31 CONT VEL=0.05 M/S CPDAT LENTA TOOL[16]:TOOL_CALIBRAZIONE BASE[22]:DIMA PYRO
283 TRIGGER WHEN DISTANCE=1 DELAY=t GLUE OFF DO oGLUE=FALSE
284 TRIGGER WHEN DISTANCE=1 DELAY= t PUMPS OFF DO oPUMPS=FALSE
285 + LIN P32 CONT VEL=0.05 M/S CPDAT LENTA TOOL[16]:TOOL_CALIBRAZIONE BASE[22]:DIMA PYRO
292 + LIN P33 CONT VEL=0.05 M/S CPDAT LENTA TOOL[16]:TOOL_CALIBRAZIONE BASE[22]:DIMA PYRO
299 + LIN P34 CONT VEL=0.2 M/S CPDAT MEDIA TOOL[16]:TOOL_CALIBRAZIONE BASE[22]:DIMA PYRO
306

```

Ovviamente il rettangolo è replicabile in altri programmi andando a modificare i punti da raggiungere nel file .dat, esattamente come per l'esempio precedente.

Altri vantaggi della programmazione con WorkVisual sono:

- **Uso di OFFSET:** Tramite l'uso di offset si possono spostare le figure realizzate sul piano di lavoro in maniera tale da permettere di riprogrammare facilmente il percorso se si dovesse cambiare i riferimenti sul piano di lavoro.

Per utilizzare questi offset all'interno delle fold di movimento occorre inserire alla sinistra del punto che si deve raggiungere col movimento una variabile come "OffsetTrack" seguita da un ":", come si evince da questa linea di codice:

```
LIN OffsetTrack:XP1 C_DIS C_DIS
```

L'offset impostato dalla variabile "OffsetTrack" è un frame che viene dichiarato nel file .dat, e può essere modificato in relazione a come viene modificato il piano di lavoro direttamente dal file dati.

```
          ;OFFSET
DECL FRAME OffsetTrack={X 0.0,Y 0.0,Z 0.0,A 0.0,B 0.0,C 0.0}
```

Quello che si nota dal codice soprastante è il frame di offset che in questo caso è stato settato a valori nulli. Nel caso si volesse spostare la figura di siliconatura, bisognerebbe imporre l'offset su tutti i movimenti in tutte le fold e in seguito modificare dal frame un offset lungo gli assi X Y e Z di un riferimento World generico oppure di rotazione A B C (rotazioni attorno agli assi stessi).

- **FLESSIBILITÀ dei programmi:** La stessa figura è riutilizzabile anche con dimensioni differenti, semplicemente modificando i punti di partenza o di arrivo di alcuni movimenti nei file .dat. Nel caso il percorso sia identico ma con dimensioni differenti si potrebbe addirittura copiare direttamente il programma .scr e cambiare solo i punti che deve raggiungere il robot nel file .dat.

Tutte queste caratteristiche permettono di avere da un ricettario di pezzi, la possibilità di adattare questi codici anche a nuovi modelli solamente con piccole modifiche, senza dover ogni volta riscrivere da capo il programma di siliconatura.

2.3. Silicone

Le nostre prove sono finalizzate a preparare il lavoro per la multinazionale per il test di due tipi diversi di silicone. Li analizziamo nel dettaglio.

Silicone attualmente utilizzato in produzione¹

Test*	Property	Unit	Result	
Dow Corning® EA-2626 Base				
	Appearance		White paste	
D 1084	Viscosity	mPa.s	205000	
D 1475	Specific gravity		1.36	
Dow Corning® Q3-3636 Catalyst				
			Grey	Special Black
D 1084	Viscosity	mPa.s	18000-48000	350000** (ca.)
D 1475	Specific gravity		1.00	1.04
Dow Corning EA-2626 Base with Dow Corning Q3-3636 Catalyst (100 pts base:13 pts catalyst)				
	Working time, snap	minutes	6-9	6-9
	Tack free time	minutes	11-18	11-18
D 1475	Flow	mm	<2	<2
	Specific gravity		1.32	1.33
	Color - RAL code		7000	7021

*Materials were tested according to Dow Corning Corporate Test Methods (CTM), which in most cases are similar to the ASTM (American Society for Testing and Materials) standards listed above.

**A penetration test is used to measure consistency of Catalyst Special Black. Value 180-460 mm/10.

Test*	Property	Unit	Result	
			Grey	Special Black
Properties after full cure – 7 days at 23°C – measured on 2 mm sheets				
D 2240	Durometer	Shore A	43	45
D 412	Tensile strength	MPa	>1.9	>1.9
D 412	Elongation at break	%	>200	>200
Adhesion via Peel Test – 24 hours cure at 23°C on clear polycarbonate				
	Cohesive failure	%	100	100
Adhesion via Lap Shear – 24 hours at 23°C on PC/glass and PBT-ASA blend/glass				
Lap shear strength				
	PC / PP***	MPa	>1.0	>1.0
	PC / glass	MPa	>1.0	>1.0
	PBT-ASA / glass	MPa	>1.0	>1.0
Cohesive failure				
	PC / PP***	%	100/100	100/100
	PC / glass	%	100/100	100/100
	PBT-ASA / glass	%	100/100	100/100

***PP treated with plasma

Figura 18: scheda tecnica silicone Dow Corning

Quello attuale è un silicone Dow Corning formato da due parti: una bianca, la base (codice EA-2626) e una nera, il catalizzatore (codice Q3-3636).

L'adesivo Dow Corning® EA-2626 è stato sviluppato per fornire una sigillatura adesiva duratura per componenti che presentano differenti velocità di espansione termica e / o laddove i requisiti di polimerizzazione rapida rendono inappropriati gli adesivi con polimerizzazione a temperatura ambiente (RTV).

Un esempio tipico nella produzione automobilistica è l'incollaggio di lenti in policarbonato o vetro all'alloggiamento del riflettore di fari e proiettori fendinebbia.

¹Le caratteristiche del silicone Dow Corning, descritte in questa parte dell'elaborato, sono state sintetizzate dalla scheda tecnica presente in:

https://www.ulbrich-group.com/chemical-technical-products/TDS_DOW_CORNING_EA_2626_Two_Part_Silicone_Adhesive.pdf

Dow Corning EA-2626 Adhesive è anche una soluzione perfetta nella produzione di elettrodomestici, in particolare per il montaggio di piani di cottura in forno e in ceramica, per incollare vetro su metallo, vetro su metallo verniciato o vetro su plastica.

Quest'ultima soluzione in particolare è il lavoro pratico che dovrò realizzare col robot KUKA e il sistema di incollaggio.

CARATTERISTICHE E VANTAGGI

- Adesivo / sigillante bicomponente
- Rapida polimerizzazione a temperatura ambiente
- Cura alchilica neutrale
- Non autolivellante, consistenza della pasta
- Adesione buona e duratura
- Eccellente resistenza agli agenti atmosferici, U.V. e resistenza al calore fino a 190 ° C
- La polimerizzazione rapida consente una rapida manipolazione dei componenti incollati
- Rapida polimerizzazione in profondità e non esternamente verso l'esterno come i tipici adesivi per la cura dell'umidità

USO - Miscelazione

L'adesivo è progettato per essere utilizzato con catalizzatori Dow Corning® Q3-3636 grigi e speciali neri in un rapporto di miscelazione di 100 parti Base: 13 parti Catalizzatore per peso, (o 5,7-5,9 parti Base: 1 parte Catalizzatore per volume di DowCorningCatalyst Gray e Special Black rispettivamente). È possibile utilizzare altri rapporti di miscelazione, ma è necessario consultare Dow Corning prima dell'uso. Le apparecchiature di misurazione/miscelazione adatte devono essere dotate di pompe dosatrici a ingranaggi o a pistone per base e catalizzatore e un miscelatore statico o dinamico adatto.

CONDIZIONI DI POLIMERIZZAZIONE

L'adesivo polimerizza a temperatura ambiente e sviluppa rapidamente l'adesione su substrati di vetro, plastica e metallo. Le superfici da incollare devono essere pulite e prive di corpi estranei, polvere o sporco. L'adesione è normalmente buona per la maggior parte dei substrati (vedi nota) senza l'uso di un primer o di metodi di attivazione superficiale. Se lo si desidera, l'adesione può essere migliorata mediante l'uso di un trattamento alla fiamma o al plasma delle superfici da

incollare. La resistenza e la forza di adesione possono anche essere accelerate dall'applicazione di calore moderato, ad esempio 10 minuti a 60-70 ° C.

Nota: L'adesione a superfici a bassa energia come il polipropilene può essere ottenuta mediante l'uso di plasma o trattamento a fiamma.

RESISTENZA CALDA E UMIDA

L'adesivo Dow CorningEA-2626 presenta una buona resistenza adesiva al caldo e condizioni umide, ad esempio 7 giorni in acqua a 70 ° C.

DURATA UTILE E CONSERVAZIONE A MAGAZZINO

Se conservato a temperatura inferiore o inferiore a 32 ° C nei contenitori originali non aperti la base DowCorningEA 2626 ha una vita utile di 12 mesi dalla data di produzione.

Se conservati a una temperatura inferiore o uguale a 25 ° C nei contenitori originali non aperti, i catalizzatori DowCorningQ3-3636 Catalysts Gray e Special Black hanno una vita utile di 5 mesi dalla data di produzione.

LIMITAZIONI

Questo prodotto non è né testato né rappresentato come idoneo per usi medici o farmaceutici.

Nuovo silicone da testare

Il silicone da testare, che sarà al centro delle nostre prove, è un prodotto più economico, prodotto da Sika, e chiamato Sikasil AS-790. Ovviamente è meno performante, ma la multinazionale pensa che sia sufficiente per il tipo di applicazione su cui andrà ad applicarlo, ovvero per incollaggio di componenti in materiale metallico, plastico o in vetro per elettrodomestici come ad esempio forni o piani ad induzione.



PRODUCT DATA SHEET

Sikasil® AS-790

ULTRA FAST CURING INDUSTRIAL ASSEMBLY SEALANT & ADHESIVE

TYPICAL PRODUCT DATA (FURTHER VALUES SEE SAFETY DATA SHEET)

Properties	Sikasil® AS-790 A	Sikasil® AS-790 B
Chemical base	2-component silicone	
Color (CQP001-1)	White	Black
	mixed	Black
Cure Mechanism	Polycondensation	
Cure type	Neutral	
Density (uncured)	1.4 kg/l	1.1 kg/l
	mixed	1.3 kg/l
Mixing ratio	A:B by volume	10:1
	A:B by weight	13:1
Viscosity (CQP029-5 / ISO 3219)	at 0.89 s ⁻²	600 Pa·s
Consistency	Paste	
Application temperature	ambient	5 – 35 °C
Snap time (CQP554-1)	5 minutes ^A	
Tack free time (CQP019-3)	10 minutes ^A	
Shore A hardness (CQP023-1 / ISO 868)	40	
Tensile strength (CQP036-1 / ISO 37)	1.6 MPa	
100 % modulus (CQP036-1 / ISO 37)	1 MPa	
12.5 % modulus (CQP036-1 / ISO 37)	0.3 MPa	
Elongation at break (CQP036-1 / ISO 37)	200 %	
Tear propagation resistance (CQP045-1 / ISO 34)	2.5 N/mm	
Thermal resistance (CQP 513-1)	4 hours	200 °C
	1 hour	220 °C
Service temperature (CQP513-1)	-40 – 150 °C	
Shelf life (CQP016-1)	12 months ^A	6 months ^A

CQP = Corporate Quality Procedure

^A 23 °C / 50 % r. h.

^B storage below 23 °C

Figura 19: Scheda tecnica silicone Sika

DESCRIZIONE²

Sikasil® AS-790 è un sigillante siliconico bicomponente non corrosivo ad indurimento estremamente rapido, progettato per processi industriali.

VANTAGGI DEL PRODOTTO

- Consente una movimentazione rapida di parti incollate
- Ottima adesione a molti substrati
- Eccezionale resistenza agli UV e agli agenti atmosferici
- Lunga durata nel tempo
- Bassa volatilità

AREE DI APPLICAZIONE

Sikasil® AS-790 può essere utilizzato per applicazioni industriali e di sigillatura industriali molto impegnative. Questo prodotto è adatto solo per utenti professionisti esperti. Per garantire adesione e compatibilità dei materiali, è necessario eseguire test con substrati e condizioni reali.

MECCANISMO DI CURA

Sikasil® AS-790 inizia a polimerizzare immediatamente dopo aver miscelato i due componenti. La velocità della reazione dipende principalmente dalla temperatura, cioè più alta è la temperatura, più veloce è il processo di polimerizzazione. Il riscaldamento al di sopra dei 50 ° C potrebbe portare a formazione di bolle e pertanto non è consentito. Il tempo di apertura del mixer, i. e. il tempo in cui il materiale può rimanere nel miscelatore senza risciacquo o estrusione del prodotto, è significativamente inferiore al tempo di scatto indicato sopra.

METODO DI APPLICAZIONE

Superficie di preparazione. Le superfici devono essere pulite, asciutte e prive di grasso, olio e polvere. Il trattamento superficiale dipende dalla natura specifica dei substrati ed è fondamentale per un legame duraturo.

² La presente descrizione costituisce una parziale traduzione dall'inglese della scheda tecnica del silicone SIKA, presente in: <https://gbr.sika.com/dms/getdocument.get/69db264b-a1f4-3e50-b4e7-b383a6508800/Sika>.

APPLICAZIONE

Prima della lavorazione Sikasil® AS-790 entrambi i componenti devono essere miscelati in modo omogeneo e privo di bolle d'aria nel rapporto corretto indicato con una precisione del $\pm 10\%$. La maggior parte delle attrezzature di misurazione e miscelazione disponibili sul mercato sono adatte. Per consigli su come selezionare e impostare un adeguato sistema di pompaggio, contattare il Dipartimento di ingegneria di sistema di Sika Industry. Si consideri che il componente B è idratante e deve quindi essere esposto solo brevemente all'aria. I giunti devono essere adeguatamente dimensionati.

Utensileria e finitura. L'attrezzatura e la finitura devono essere eseguite entro il tempo di chiusura dell'adesivo. Non devono essere utilizzati agenti di lavorazione.

RIMOZIONE

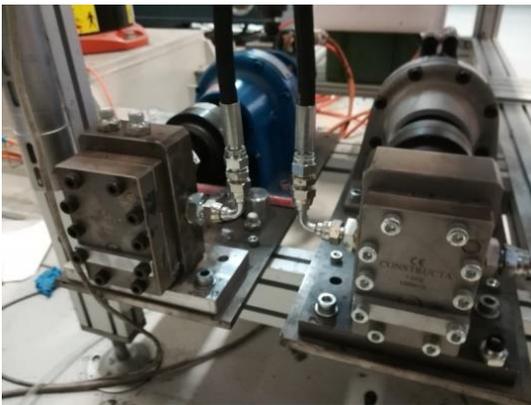
Sikasil® AS-790 non indurito può essere rimosso da strumenti e attrezzature con Sika® Remover-208 o un altro solvente adatto. Una volta indurito, il materiale può essere rimosso solo meccanicamente. Le mani e la pelle esposta devono essere lavate immediatamente utilizzando salviette per la pulizia della mano come Sika® Cleaner-350H o un detergente per mani industriale adatto e acqua. Non usare solventi sulla pelle! Non è possibile sovraverniciare Sikasil® AS-790.

Limiti dell'applicazione: Per escludere i materiali che influenzano Sikasil® AS790, tutti i materiali come guarnizioni, blocchetti di fissaggio, sigillanti ecc., In contatto diretto e indiretto devono essere approvati da Sika in anticipo. Quando vengono utilizzati due o più sigillanti reattivi diversi, consentire al primo di indurire completamente prima di applicare il successivo. Sikasil® AS-790 può essere utilizzato solo per applicazioni seriali dopo un esame dettagliato e l'approvazione scritta dei relativi dettagli del progetto da parte di Sika Industry.

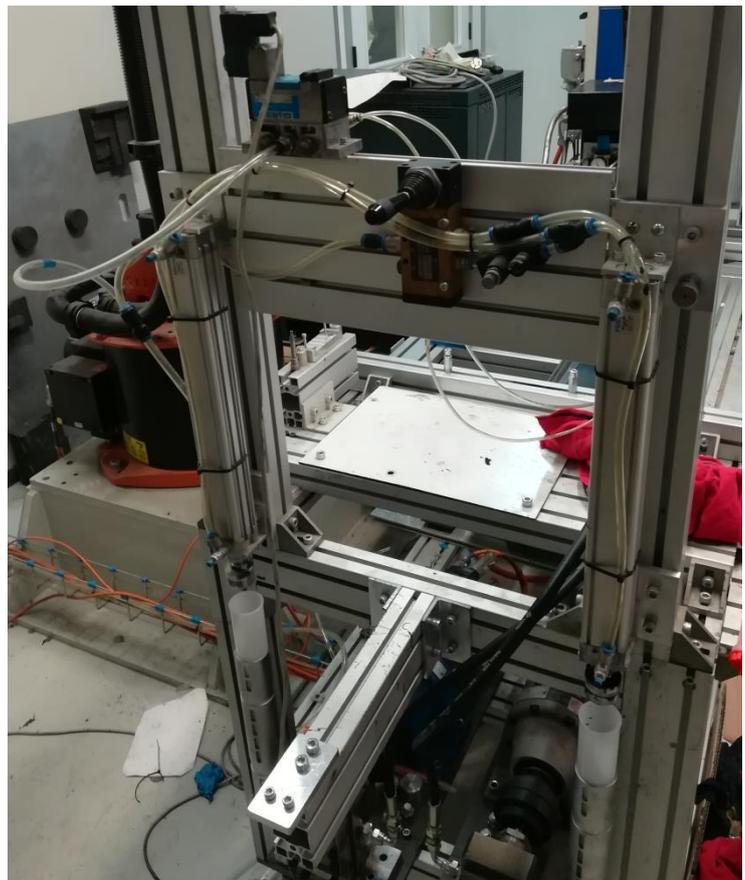
2.4. Sistema di erogazione e controllo

Sistema sperimentale

Nella fase di formazione e studio del sistema si è sfruttato un sistema sperimentale. Questo è formato da due cartucce contenenti i due aggregati di silicone, una componente di color bianco, ovvero la base, e una di color nero, che fa da catalizzatore. Quest'ultima in particolare permette la reticolazione della colla, che dà le buone caratteristiche meccaniche di incollaggio della miscela. Solitamente la dosatura è di 10 cc/g di base (bianco) e 1 cc/g di catalizzatore (nero), ma tramite un azionamento controllato delle pompe si può cambiare il rapporto. Le pompe vanno a 5 cc/g per quella del bianco (che viene fatta girare il doppio dell'altra normalmente) e a 1 cc/g per quella del nero.



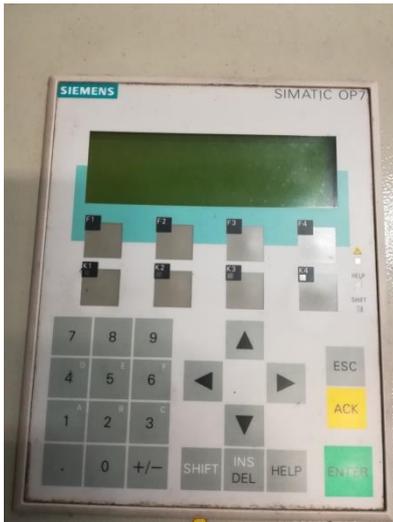
Le due cartucce sono messe in pressione con dei pistoni manuali ad aria compressa, che danno circa 6 bar di pressione. Queste cartucce in pressione si affacciano su delle pompe ad ingranaggi, che permettono il flusso dei due componenti siliconici all'ugello dell'end effector del robot. Il sistema di miscela delle due componenti è situato



nell'ugello stesso: una volta azionata l'elettrovalvola che si trova alla fine dei due tubi di approvvigionamento, le due componenti sono immesse nell'ugello che è caratterizzato da una geometria particolare. Infatti al suo interno è situata una spirale in plastica che permette la miscelazione delle componenti e impedisce che la reticolazione avvenga in un'altra zona del

sistema: l'ugello può essere sostituito in maniera molto semplice e con un costo molto contenuto, essendo un componente in plastica facilmente reperibile. Se si avesse reticolazione nelle pompe o nelle tubazioni di approvvigionamento la manutenzione del sistema sarebbe molto più costosa e complessa: gli ingranaggi andrebbero smontati e puliti ogni volta se non si sono rovinati a tal punto da comprometterne il funzionamento.

La gestione della dosatura è data da un azionamento tramite un PLC di controllo della Siemens (SIMATIC OP7), che aziona elettrovalvola e pompe.



Per accendere il PLC occorre girare la chiave in alto a sinistra, riarmare l'emergenza (tasto verde in basso a destra) e in seguito eseguire l'arresto dell'anomalia (pulsante rosso in basso a sinistra). Fatte queste operazioni si può iniziare a lavorare col sistema di siliconatura. Azionando il tasto K4 si ottiene il controllo manuale del silicone che viene erogato attivando in automatico sia elettrovalvola che pompe. Per il controllo automatico tramite il controllo con il PLC del robot KUKA occorre accendere prima il PLC Siemens del sistema di siliconatura, poiché questo alimenta la scheda I/O all'interno del PLC del robot, in seguito il PLC del KUKA. Nel caso in cui il PLC di KUKA sia già acceso occorre un riavvio del sistema, altrimenti il controllo non riuscirebbe a comandare il cabinet del sistema di siliconatura. Una volta avviati entrambi i PLC, occorre il riempimento dell'ugello in maniera manuale: occorre spingere sul pulsante K1 che aziona il tipo di modalità di controllo manuale e la regolazione viene così comandata dal tasto K4, che aziona sia l'elettrovalvola che la pompa. Dopo aver riempito l'ugello di silicone fluido o fatto spurgare di quello reticolato all'interno, si può premere il tasto K2 di modalità automatica. Per proseguire si deve riarmare il tasto di ciclo (pulsante verde in basso a sinistra), che va tenuto premuto finché non smette di lampeggiare e si stabilizza su una illuminazione verde costante. A questo punto si potrebbe far partire il programma scritto su WorkVisual o su SmartPAD per muovere il KUKA e controllare l'erogazione del silicone in maniera automatizzata.

Controllo del sistema di erogazione del silicone

Il silicone, sia per il sistema sperimentale che per quello reale che si vedrà in seguito, viene spinto da due pompe ad ingranaggi, ognuna delle quali lavora separatamente su un componente diverso:

- 1) Pompa del BIANCO → lavora a 5 cc/g
- 2) Pompa del NERO → lavora a 1 cc/g → essendo la parte aggressiva che permette la reticolazione, può essere un problema! Su un lavoro sul lungo periodo, gli ingranaggi della pompa possono rovinarsi, e nel caso il sistema necessita di manutenzione.

Sistema di immissione del silicone è controllato da due uscite: elettrovalvola (GUN) e pompe.

I segnali di Trigger per l'accensione dei due meccanismi sono gestiti dal PLC come doppio comando, in particolare la gestione è effettuata in maniera temporizzata e sul movimento, per spalmare il silicone in maniera omogenea. Attenzione: la tempistica di accensione sul comando doppio non può essere contemporanea, perché si creerebbero dei **“Blob”** ovvero come delle bolle di silicone soprattutto nelle fasi di accensione e spegnimento del sistema di siliconatura. Per migliorare l'estetica e il consumo del tratto di siliconatura, occorre non creare questo tipo di sporcizia sul pezzo. Solitamente all'accensione viene prima accesa l'elettrovalvola e circa 100 ms dopo le pompe: questo impedisce di creare sovrappressioni sull'elettrovalvola, che alla sua accensione creerebbero il blob all'avvio in caso contrario. In seguito la chiusura del flusso di silicone parte dalla chiusura delle pompe (sempre per non creare pressioni residue) in maniera tale da liberare i tubi che portano le due componenti del silicone. In seguito si chiude l'elettrovalvola e per non creare bave si deve studiare un percorso dell'ugello tale da non creare sporcizia sulla **chiusura** della siliconatura. Un esempio può essere tornare indietro alzando leggermente l'ugello per non avere problemi di “strascico” della bava di silicone uscente dall'ugello in un punto dove non va spalmato il silicone.



Figura 20: a sinistra, esempio di errata chiusura; a destra in alto un “Blob” in basso un'altra errata chiusura e relativa bava.

Come si controlla l'erogazione dal programma?

Occorre uno studio sui **TRIGGER**, ovvero l'accensione delle pompe di erogazione del silicone e dell'elettrovalvola dell'ugello. NB: il trigger non può essere usato per movimenti PTP e non può trovarsi, nel caso di blocco spline, tra l'ultimo segmento e l'ENDSPLINE. Solitamente si enuncia come:

```
TRIGGER WHEN DISTANCE=1 DELAY="Tempo_di_ritardo" DO Valvola=TRUE
```

Con questa linea di codice nella pratica comandiamo col PLC l'accensione l'uscita "Valvola" con un ritardo di "Tempo_di_ritardo" millisecondi rispetto al punto che si sta raggiungendo (condizione DISTANCE=1, se fosse stato 0 questo parametro ci saremmo riferiti al punto di partenza e non di arrivo).

Quindi, settati i due output (oGLUE e oPUMPS) come FALSE all'inizio del programma per avere una condizione di default predefinita ed evitare di gettare silicone in maniera errata, si è posizionata la riga del trigger di comando prima del punto P3 (dal quale inizia la siliconatura), comandando così l'accensione del Gun e delle Pompe:

```
TRIGGER WHEN DISTANCE=1 DELAY=t_GLUE_ON DO oGLUE=TRUE
```

```
TRIGGER WHEN DISTANCE=1 DELAY= t_PUMPS_ON DO oPUMPS=TRUE
```

In particolare "t_GLUE_ON" e "t_PUMPS_ON" sono anticipi di accensione poiché valori negativi, e comandano gli output di "oGLUE" e "oPUMPS", variabili di accensione dei due sistemi. Questo si può notare nella dichiarazione delle variabili fatta nel file .dat che contiene i valori delle variabili del programma:

```
DECL INT t_GLUE_ON=-210
```

```
DECL INT t_PUMPS_ON=-190
```

Si utilizza un anticipo perché occorre un tempo, breve ma presente, per far fluire il silicone nei tubi e averlo disponibile nella punta dell'ugello di erogazione dell'end effector.

Per la chiusura della siliconatura si è usata la stessa funzione TRIGGER per settare i due valori di output oGLUE e oPUMPS a FALSE, prima di arrivare a P6, come segue:

```
TRIGGER WHEN DISTANCE=1 DELAY=t_GLUE_OFF DO oGLUE=FALSE
```

```
TRIGGER WHEN DISTANCE=1 DELAY= t_PUMPS_OFF DO oPUMPS=FALSE
```

Analogamente al caso precedente sono state dichiarate le variabili dei tempi di anticipo:

```
DECL INT t_GLUE_OFF=-10
```

```
DECL INT t_PUMPS_OFF=-40
```

Gestione dei parametri della siliconatura

Attenzione: Come fare a scegliere le velocità di percorrenza, la distanza dalla zona di deposito della bocca dell'ugello e i tempi di ritardo/anticipo di chiusura/apertura delle valvole?

È tutto un lavoro **SPERIMENTALE!** Non ci sono formule per determinare un cordone di siliconatura ottimale in funzione di questi parametri. Occorre verificare sul campo come gestire alcuni di questi fattori e da una prima prova si può dedurre che:

- La **VELOCITÀ** di deposito influisce sullo spessore del cordone di incollaggio.
- La **DISTANZA** dalla superficie della bocca dell'ugello è importante per far bene aderire il cordone di silicone e influisce anche questo sullo spessore dello stesso. Infatti se la distanza è troppo poca l'ugello tende a “spalmare” il silicone.
- È importante avere il silicone in uso il **PIÙ FLUIDO** possibile per non avere un'uscita irregolare dall'ugello, quindi, prima di una prova, è fondamentale fare uno scarico del mixer dell'ugello per avere silicone fresco al suo interno. Attenzione: il silicone all'interno del mixer è appunto la combinazione dei due componenti e non appena viene raggiunto sia dal bianco che dal nero inizia la reticolazione! Senza uno spurgo automatico temporizzato correttamente, prima o poi al suo interno si creeranno grumi o occlusioni che comprometteranno i successivi utilizzi del mixer stesso che dovrà essere cambiato.
- La **MODALITÀ di INIZIO GETTATA**, ovvero: i tempi di ritardo/anticipo dei trigger; il movimento che si ha al momento della gettata iniziale, fondamentale per non creare sporczia nella parte iniziale del cordone (si possono creare “Blob”, oppure una testa di siliconatura più larga della restante parte). In particolare occorre prestare attenzione:
 - A INIZIO GETTATA, l'elettrovalvola va aperta prima dell'attivazione delle pompe, per non creare sovrappressioni che possono rovinare o addirittura rompere il circuito di approvvigionamento del silicone (tubature possono esplodere)
 - A FINE GETTATA, per lo stesso motivo vanno spente prima le pompe, poi chiusa l'elettrovalvola
- La **CHIUSURA** della siliconatura, ovvero come vengono impostati i tempi di ritardo/anticipo dei trigger; il movimento all'indietro, alzando la bocca dell'ugello se possibile (per non creare sbavature o “Blob”).



Figura 21: prove dello stesso percorso con differenti parametri di processo.

Dalla figura si nota la differenza di spessore che si ha all'aumentare della distanza dal piano di lavoro all'erogazione del silicone da parte dell'ugello:

- Il primo in alto è un cordone di siliconatura ottenuto portando l'ugello su un piano $Z=-4$ mm nel riferimento base creato a 6 mm dalla superficie della lastra su cui bisogna siliconare.
- Il secondo e il terzo sono stati fatti su un piano $Z=-2$, ripetuti per un errore nell'esecuzione, che si può ben notare nel terzo cordone a partire dall'alto in corrispondenza della pallina di silicone che si è formata.
- Il quarto cordone è stato fatto su un piano $Z=0$ (quindi con l'ugello a 6 mm dal piano reale di incollaggio). Si può notare che al diminuire della distanza aumenta leggermente lo spessore, poiché il silicone viene spalmato e non più depositato dall'alto come accade ad esempio nell'ultimo cordone.

Inoltre si nota che nella seconda e terza siliconatura si ha la parte verticale zigrinata: oltre al ristretto spessore, probabilmente questo è dovuto a un mixer leggermente reticolato e quindi il silicone erogato che ne risulta non è abbastanza fluido. La causa principale può essere che non è stato spurgato correttamente il mixer e quindi in uscita il silicone aveva una consistenza grumosa al passaggio da quel tratto.

In un'altra prova si sono create le due seguenti siliconature, effettuate sempre su un tape:



Figura 22: prove dello stesso percorso rovesciato con errori

È lo stesso percorso fatto sullo stesso pezzo che però è stato girato. Si può notare che lo spessore è sempre lo stesso, perché sono stati usati gli stessi parametri, a differenza di due punti, che permettono di marcare una differenza:

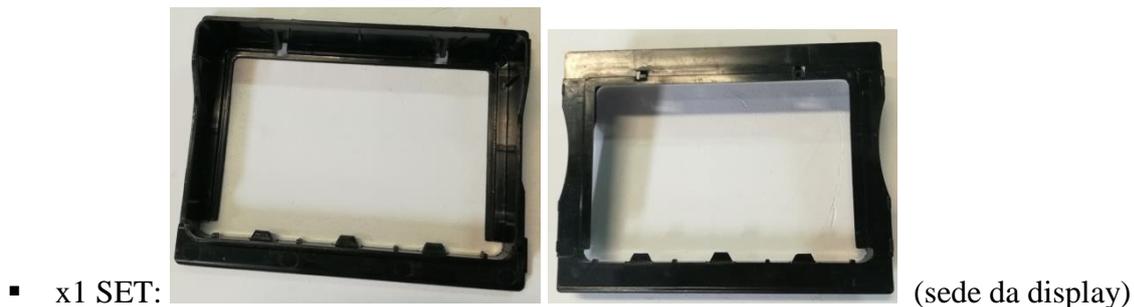
- Nella **siliconatura di destra** non ci si è preoccupati della chiusura, una volta finita la siliconatura. Infatti si può notare che la parte finale (nella figura al centro) è sbavata verso l'alto, probabilmente a causa del ritorno alla posizione centrale di HOME, movimento finale del programma. Inoltre si denota anche una sbavatura nella parte centrale della siliconatura alla fine del tratto a "V", dovuta a un intoppo di esecuzione da parte dell'operatore manuale (rilascio momentaneo del pulsante di start, che invece deve essere premuto e mantenuto per tutta la siliconatura nella prova in modalità T2).
- Nella **siliconatura di sinistra**, oltre ad aver eseguito il percorso senza intoppi, si è prestato particolare attenzione alla chiusura. Questa è stata realizzata chiudendo l'erogazione di silicone e allo stesso tempo tornando indietro per un breve tratto alzando l'ugello di 1 mm: così avviene il distacco della bava finale di silicone che si amalgama al tratto precedente, determinando un leggero ingrandimento di spessore che è del tutto trascurabile.

Durante la mia formazione ho dovuto eseguire un esercizio su questa lastra di un pannello di controllo che però non sarà oggetto del lavoro vero e proprio. Inoltre attraverso questo esercizio si mostreranno degli errori che non sono mai stati mostrati prima in questo lavoro.



Figura 23: lastra di metallo pannello di controllo esercizio di prova

Quindi una volta incollato sopra del tape (nastro adesivo azzurro) lo scopo era creare il percorso di siliconatura per incollare i seguenti supporti in plastica:

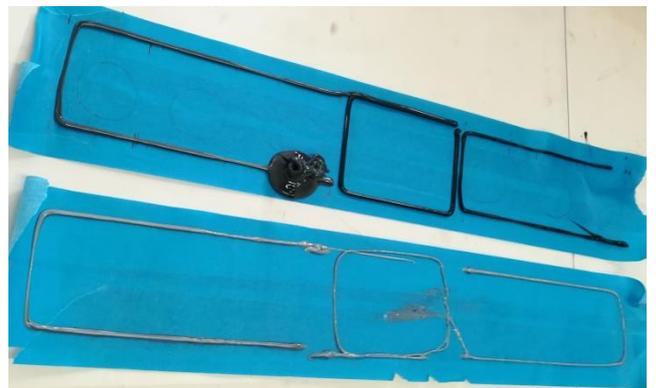


Passi seguiti per poter effettuare le siliconature:

1. Misurare il TCP utensile.
2. Misurare la BASE, identificando come piano di lavoro quello della lastra dove applicare il silicone.
3. Misurare i punti del percorso e creare dei percorsi con più funzioni LIN. Attenzione: i raccordi devono essere il più piccoli possibile per avere curve spigolose, quindi occorre un'approssimazione di distanza sulla funzione CONT molto piccola (5%).
4. Una volta provato il percorso dell'ugello, si prova a fare la siliconatura.

Primi esperimenti:

Da quello che si evince dall'immagine a destra, in un caso c'è stato un errore di chiusura dell'erogazione, che ha creato una bolla di silicone che è stato poi fermato manualmente. Nell'altro caso si può notare che oltre ad essere stati fatti degli errori nelle



chiusure, la cartuccia della parte nera catalizzatrice deve essere terminata proprio prima di iniziare la siliconatura. Ne consegue quindi una miscela in uscita dall'ugello non conforme all'incollaggio, troppo liquida e come si può notare, che crea bave in maniera frequente a causa della sua minore viscosità.

Sistema di erogazione del silicone

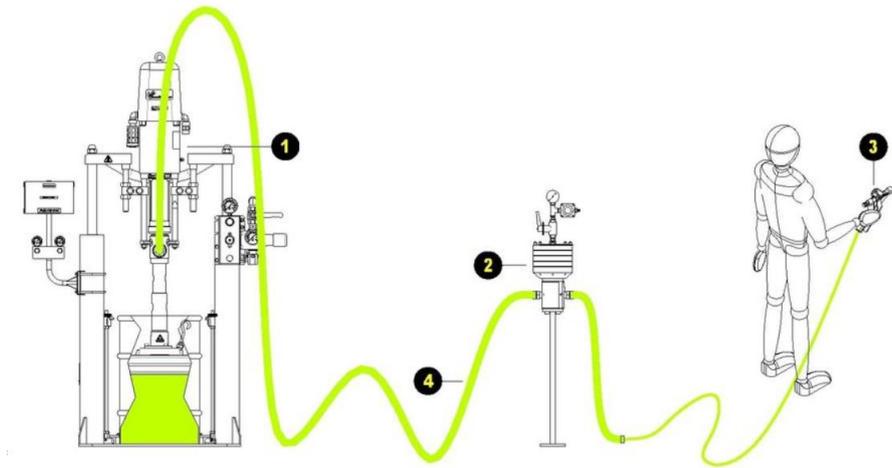
Questo sistema è quello reale, che verrà utilizzato per il lavoro obiettivo della tesi. Prodotto dalla Sames Kremlin, azienda che si occupa di automazione industriale, si tratta di un **ESTRUSORE MANUALE DI SIGILLANTE DA FUSTO** per erogare sigillante o adesivo da un fusto ad un operatore.



Figura 24: estrusore manuale di sigillante da fusto

Soluzioni complete per garantire:

- **PRESTAZIONI**
 - Portata costante di materiale
 - Garanzia di un cordone omogeneo
- **PRODUTTIVITÀ**
 - Le cartucce non devono essere sostituite sovente
 - L'operatore può regolare la portata del materiale quando la viscosità cambia in relazione alle condizioni climatiche
- **DURABILITÀ**
 - Basso sforzo al grilletto riduce l'affaticamento dell'operatore
 - Le pompe di sigillatura sono selezionate in relazione al materiale da applicare in modo da aumentare la loro vita utile



Dallo schema di layout soprastante si notano i principali componenti di cui è composto:

1. POMPA A PISTONE A PIATTELLO

Le pompe a pistone a piattello sono le pompe maggiormente utilizzate nel settore dei materiali densi (sigillanti e adesivi).

2. REGOLATORE PRODOTTO

Assicura una costante portata di prodotto.



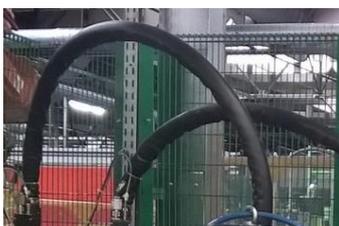
3. PISTOLA ESTRUSIONE MANUALE

Sono disponibili differenti misure di ugelli.



4. TUBI ALTA PRESSIONE

Disponibili in diversi diametri per ridurre le perdite di pressione.



Nel nostro caso abbiamo due di questi oggetti praticamente identici, come si evince dalla figura sottostante, uno per ognuna delle due componenti da miscelare (base e catalizzatore) per ottenere l'incollaggio col silicone.



Figura 25: pompe di estrusione silicone.

Ai fini del nostro lavoro quindi il sistema che si vede nel layout del prodotto fornito dalla Sames Kremlin è diverso soprattutto per due aspetti:

1. Il sistema di estrusione dal fusto è doppio, ci son due pompe, due regolatori e due tubi ad alta pressione.
2. La pistola di estrusione manuale non c'è, ed è sostituita dal sistema ugello-elettrovalvola montato sull'end effector del robot KUKA.
3. La dosatura dei due flussi viene fatta sempre attraverso due pompe ad ingranaggi situate al posto del regolatore.

Questo consente una volta programmati i percorsi del robot e la dosatura giusta del silicone di automatizzare completamente il sistema.



Figura 26: pompe di estrazione silicone dai fusti.

Capitolo 3. Incollaggio pezzi

3.1. Procedura di incollaggio

Il passo successivo del lavoro è stato sfruttare i percorsi progettati per iniziare la produzione vera e propria degli incollaggi.

Si è partiti dai control panels, organizzando i modelli per famiglie e catalogando gli eventuali errori di incollaggio o di realizzazione del percorso, i miglioramenti e i difetti che si possono avere.

Durante tutto il procedimento si è utilizzato il silicone SIKA col flow rate descritto sopra, ad eccezione fatta per i pannelli in vetroceramica che sono stati realizzati con un flow rate doppio. Essendo le dimensioni di quel modello molto maggiori rispetto agli altri, c'era la necessità di utilizzare maggior silicone per l'incollaggio dei pannelli in vetroceramica.

La procedura utilizzata per gli incollaggi ha seguito sempre gli stessi step:

1. **Afferraggio pezzi:** Ogni pezzo necessitava di una dima differente su cui essere bloccato per evitare errori nella siliconatura dovuti a spostamenti incontrollati.
2. **Preparazione** del prodotto da siliconare: Alcuni componenti necessitavano di pretrattamenti, come ad esempio la plasmatura per i pezzi in plastica o in metallo verniciato.
3. **Verifica del percorso:** prima di partire con la produzione vera e propria degli incollaggi è necessario nel nostro caso sperimentale verificare la correttezza del percorso per evitare collisioni e delle velocità dell'ugello per il deposito della quantità corretta di silicone. In particolare per questo secondo caso occorre una prova con siliconatura su tape incollato sul pezzo di prova, in maniera tale anche da affinare le distanze per un percorso di siliconatura ancora più corretto.
4. **Siliconatura** vera e propria: il robot viene fatto lavorare in modalità automatica e può depositare il silicone sul percorso già collaudato e affinato.
5. **Incollaggio manuale** dei pezzi: ovviamente sulla linea del cliente il procedimento di incollaggio sarà effettuato tramite robot, sarà quindi anche più preciso e con maggiore ripetibilità. Nel nostro caso questo punto è realizzato manualmente e come nel caso del Glass Out 3D è stato aiutato tramite un leggero uso di colla a caldo. Solitamente si fa uso dei riferimenti della dima se possibile, altrimenti l'incollaggio è stato realizzato cercando di prestare attenzione di essere il più precisi possibili.

6. **Fissaggio pezzi:** talvolta è necessario lasciare i pezzi appena incollati in posizione in maniera da permettere al silicone di reticolare sotto l'effetto di un peso che tiene pressate le due parti da incollare.

L'ambiente di lavoro era il capannone principale di Constructa, dove il primo giorno di incollaggio si era registrata un'umidità relativa del 51% e una temperatura di 23°C. Chiaramente nel corso dei giorni queste caratteristiche sono cambiate, ma non in maniera così determinante da compromettere le siliconature.

Di seguito saranno riportati i dati del report compiuto per SIKA per documentare l'andamento degli incollaggi e le eventuali modifiche sul processo.

3.2. Pannelli di Controllo

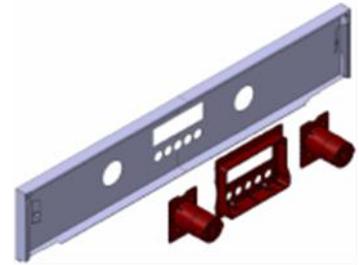
Ora passerò in rassegna le fasi di incollaggio componente per componente di questa famiglia di prodotti, denominata "Control Panels". Si dividono in:

- Painted Panel (pannelli verniciati), tra cui:
 - o Painted panel black to knobhousing PBT and timerframe PC/Abs
 - o Painted panel white to knobhousing PBT and timerframe PC/Abs
- Metal glass panel (Ikea), black coated matt
- Metal panel stainless steel (pannelli di acciaio inossidabile)
- Glass-in-model, tra cui:
 - o Glass-in-model to INOX
 - o Glass-in-model to WHITE frame
- Full Glass Panel
- Glass-out-3D, tra cui:
 - o Glass-out-3D painted White
 - o Glass-out-3D painted Black
 - o Glass-out-3D SS (Stainless Steel)



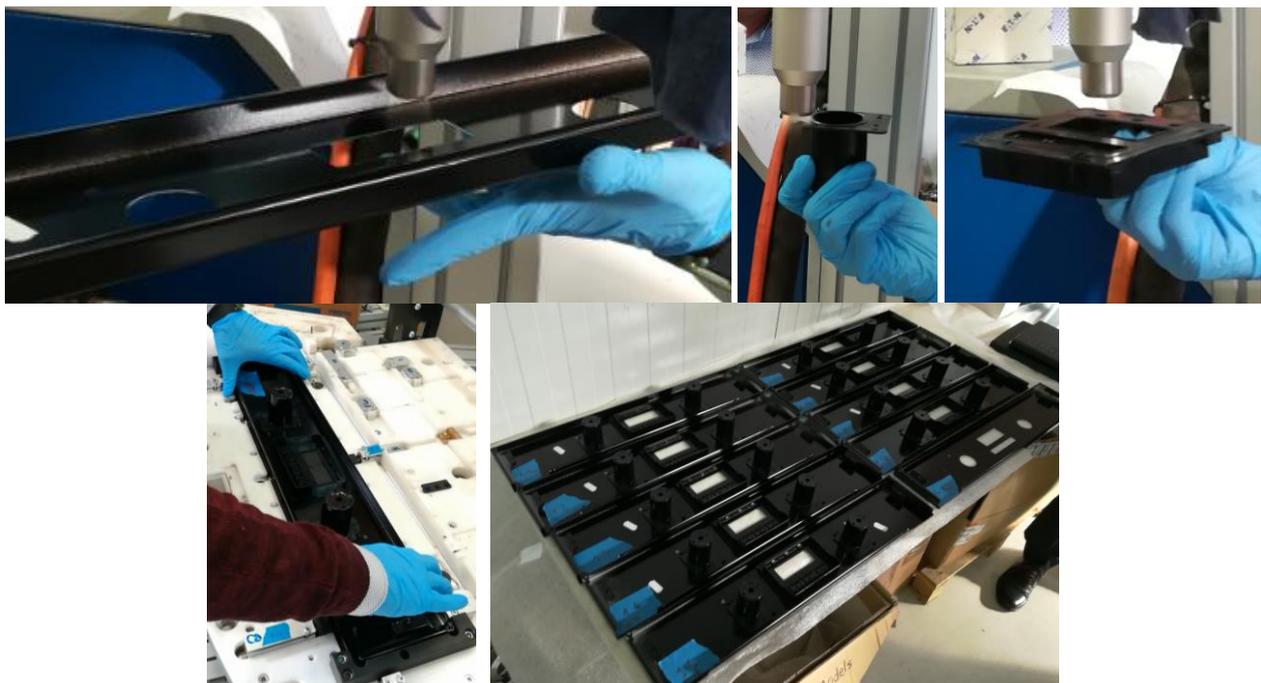
Painted panel black to knobhousing PBT and timerframe PC/Abs

Su ogni superficie interessata all'incollaggio di ogni componente di questo modello è stato applicato un trattamento al plasma, in maniera manuale, anche se nella linea produttiva del cliente è realizzato tramite robot, poiché in Constructa era disponibile solo un robot KUKA per la siliconatura. Questo trattamento è necessario per rendere maggiormente porose le superfici di incollaggio e quindi facilitare la tenuta del silicone.



Sono stati incollati 10 componenti di questa tipologia, con un flow rate di 38,3 cm³/min (nel dettaglio: 35 parti di componente bianco di silicone e 3.3 di nero).

La velocità dell'ugello è stata di 0.06 m/s per i PIPO (ovvero i supporti in plastica porta pomelli); per il SET (supporto in plastica per display e elettronica), invece, sono state utilizzate due diverse velocità di deposito: 0.06 per il lato lungo del rettangolo (lati inferiore e superiore) e 0.1 m/s per i lati corti (destra e sinistra). Inoltre centralmente per questo modello è necessario un baffo di silicone fatto a velocità molto sostenuta, 0.2 m/s, da parte dell'ugello. Questo è stato fatto in maniera tale da avere un cordone più sottile nelle parti laterali del set, che richiedevano minor quantità di silicone, e in particolare una leggera quantità col baffo centrale per una migliore adesione del SET.



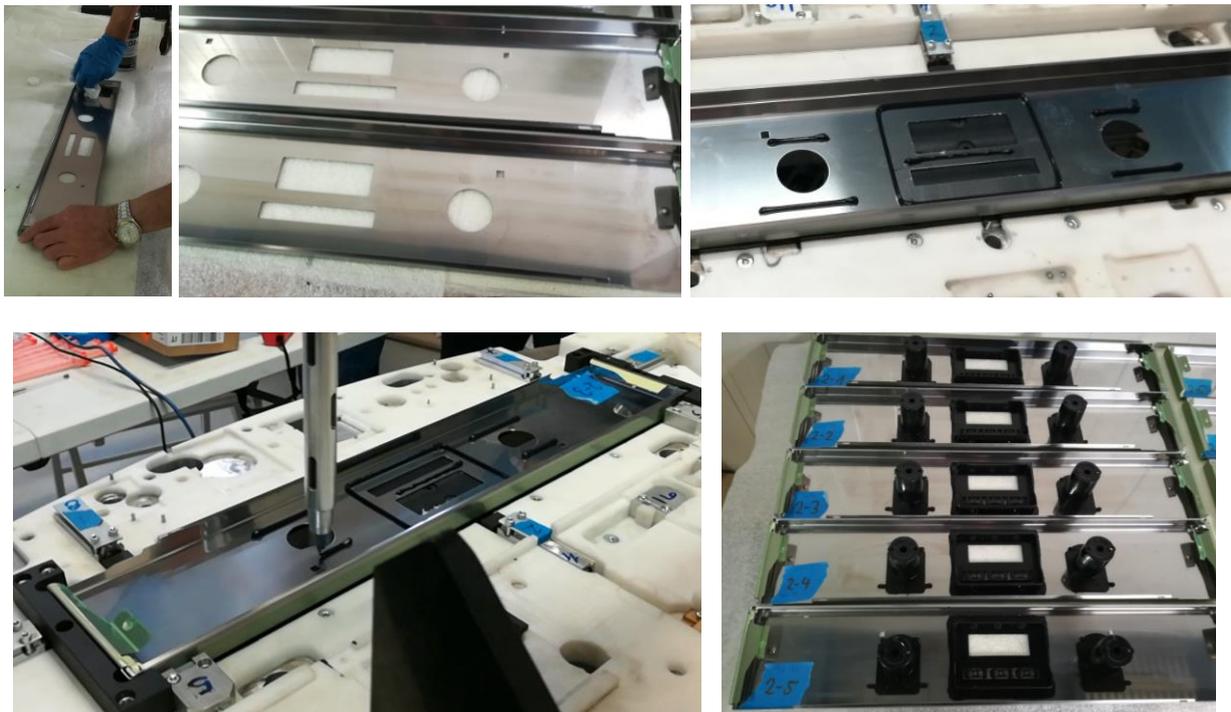
Metal panel stainless steel

Per questi componenti si è sempre fatto lo stesso trattamento al plasma del caso precedente, tranne che per i pannelli metallici su cui si è applicato il Sika Aktivator-205, prodotto che serve a rendere la superficie del pannello più pulita e più adeguata alla siliconatura, favorendone l'incollaggio.

In questo caso su questi 10 pezzi il flow rate era sempre 38,3 cm³/min (con 35 parti della componente bianca del silicone e 3.3 di quella nera).

La velocità dell'ugello è esattamente la stessa attuata anche nel modello precedente: 0.06 m/s per i PIPO; per i SET invece 0.06 m/s per i lati lunghi del rettangolo (in basso e in alto), 0.1 m/s per i lati lunghi (destro e sinistro). Inoltre è necessario il baffo centrale di silicone realizzato alla velocità di 0.2 m/s..

Note: Sui modelli 2.1 e 2.2 si è depositato meno silicone: si è utilizzata una velocità dell'ugello maggiore: 0.08 m/s invece di 0.06 m/s.



Painted panel white to knobhousing PBT and timerframe PC/Abs

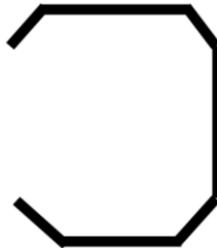
Questo modello necessita degli stessi trattamenti fatti per il Painted panel black su tutti e 10 i componenti:

- Applicazione del plasma sulle superfici da siliconare
- Flow rate di 38,3 cm³/min (35 parti di bianco e 3.3 di nero).
- Velocità ugello:
 - 0.06 m/s per PIPO
 - 0.06 m/s per lato inferiore e superiore del SET
 - 0.1 m/s per lati destro e sinistro del SET
 - 0.2 m/s per il “baffo” centrale



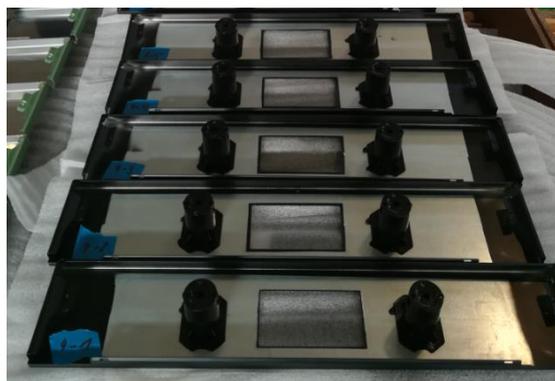
Metal glass panel (Ikea), black coated matt to knobhousing PBT and timerframe PC/Abs

A differenza dei pannelli precedenti, questo è leggermente diverso, infatti non è presente l'incollaggio del SET ma solo dei PIPO. Inoltre questo incollaggio è con un tipo di PIPO differente da quelli sempre utilizzati, che necessita di un percorso di siliconatura quasi esagonale:



Le altre caratteristiche tecniche di questi 10 pezzi sono:

- Flow rate: 38,3 cm³/min.
- Velocità ugello: PIPO 0.06 m/s per i lati superiori e inferiori, 0.2 m/s per il tratto verticale a destra.

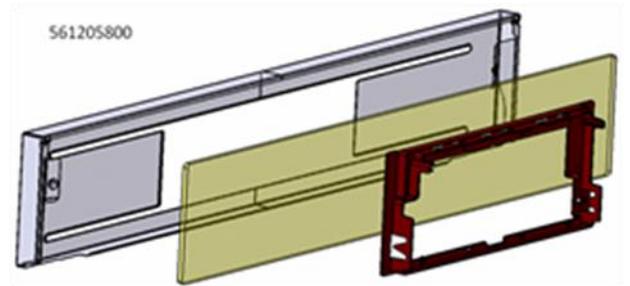


Glass-in-model to INOX

Questa tipologia di modello “GLASS-IN” richiede un incollaggio su più fasi:

Fase 1) Incollaggio del vetro

Fase 2) Incollaggio SET e PIPO



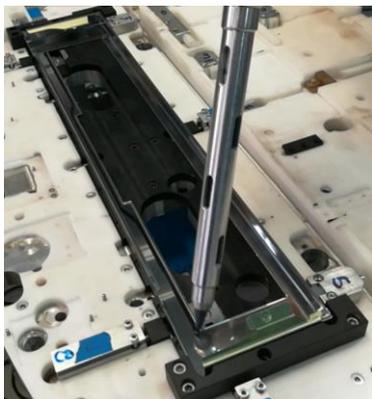
FASE 1

È necessario un pretrattamento del pannello in acciaio INOX con il Sika® Aktivator-205, applicato in maniera manuale. D'altra parte sul vetro non bisogna fare nessun trattamento.

L'ugello del robot seguirà un percorso tale da poter siliconare tutto il perimetro del vetro e permettere un incollaggio molto saldo. Questo è favorito anche dalla dima che presenta i giusti incastri per permettere un posizionamento facilitato.

Altre caratteristiche del processo:

- Flow rate: 38,3 cm³/min.
- Velocità ugello: 0.1 m/s.
- Quantità pezzi: 10 unità.

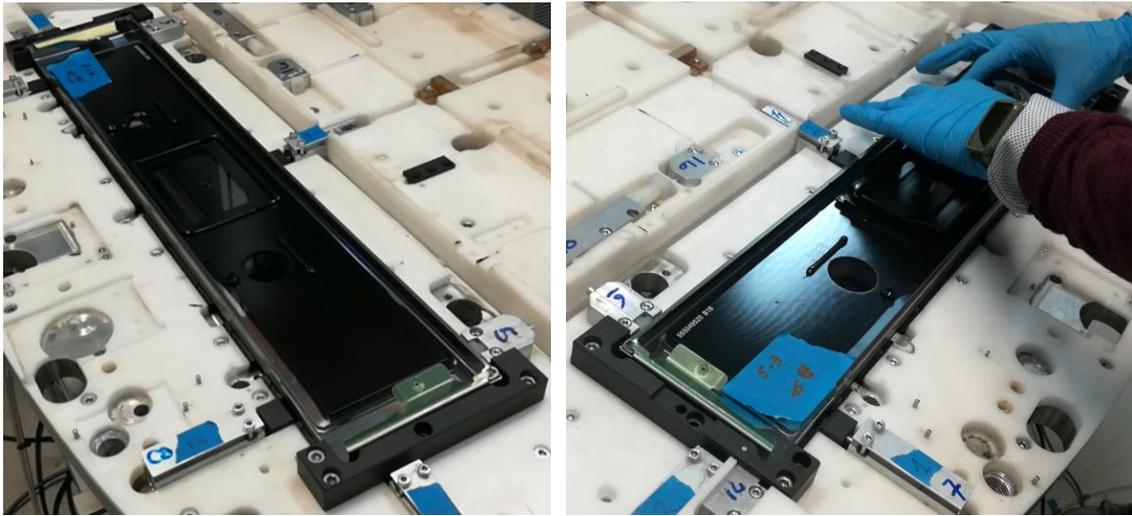


FASE 2

L'incollaggio dei SET e dei PIPO è stato fatto dopo aver incollato tutti i vetri in tutti i modelli.

La velocità dell'ugello durante la siliconatura era:

- 0.08 m/s per la linea superiore del PIPO.
- 0.5 secondi di attesa per la bolla inferiore del PIPO (una volta arrivato in posizione).
- 0.06 m/s per il lato superiore e inferiore e 0.1 m/s per i lati destro e sinistro del SET.



Glass-in-model to WHITE frame

Questo modello è lo stesso del precedente e quindi necessita dello stesso processo di produzione e stesse caratteristiche di siliconatura.

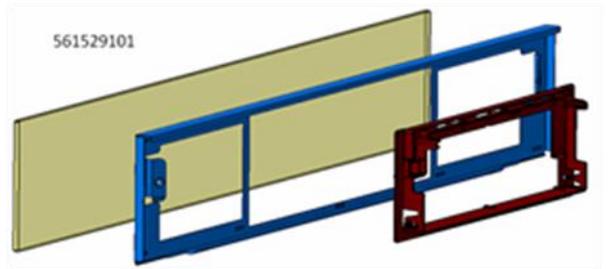
Di seguito sono riportate alcune immagini del processo attuato sui 10 pezzi di questo modello:



Full Glass Panel

L'incollaggio di questo modello è realizzato in tre fasi:

1. Incollaggio tra Décor (mascherina metallica con una guaina in plastica interna) e vetro.
2. Incollaggio con pannello metallico.
3. Incollaggio di SET e PIPO.



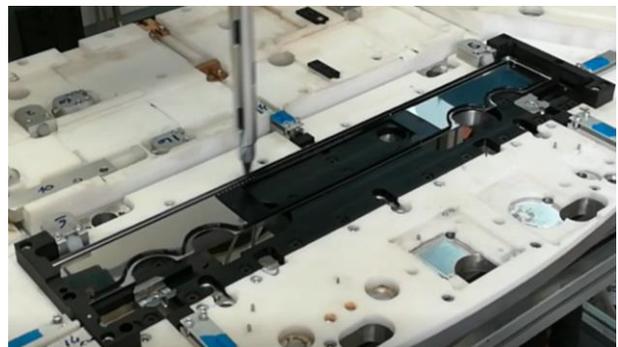
FASE 1

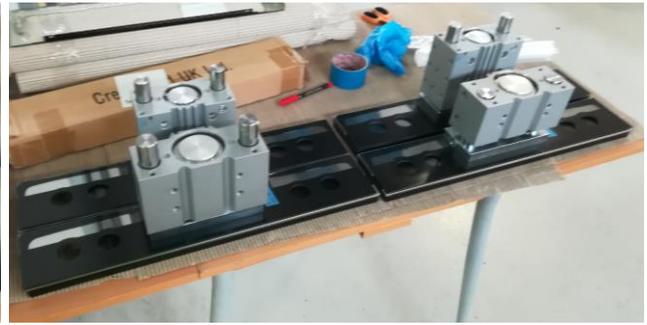
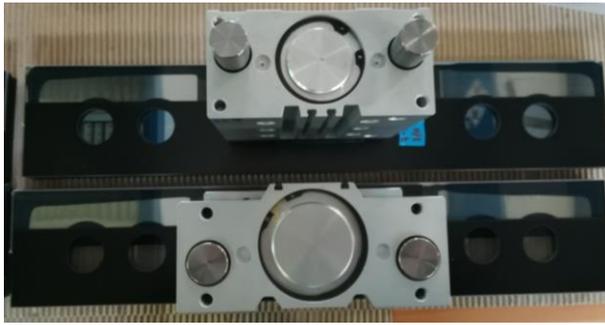
Per l'incollaggio tra Décor e vetro era necessario inizialmente montare sulla dima la mascherina metallica, con appoggiato sopra la guaina interna, e fissare il tutto con i pistoncini ad aria compressa presenti sulla dima. In seguito si doveva siliconare il perimetro della mascherina, passando anche sopra la parte in plastica della guaina. In questo modo si permette anche il fissaggio reciproco tra guaina e mascherina una volta che si è montato il vetro sul Décor, appena finita la siliconata. La dima è stata realizzata apposta su misura per permettere un montaggio facilitato.

Le caratteristiche principali di questo processo sono

- Nessun trattamento sul vetro.
- Nessun trattamento sul Décor per indicazioni del cliente.
- Flow rate: 38.3 cm³/min.
- Velocità ugello: 0.1 m/s nel perimetro della mascherina eccetto per il tratto sulla guaina in plastica in cui l'ugello è stato accelerato fino a 0.25 m/s.

Note: i pezzi 7.1, 7.2, 7.3 hanno una diversa velocità dell'ugello: 0.2 m/s



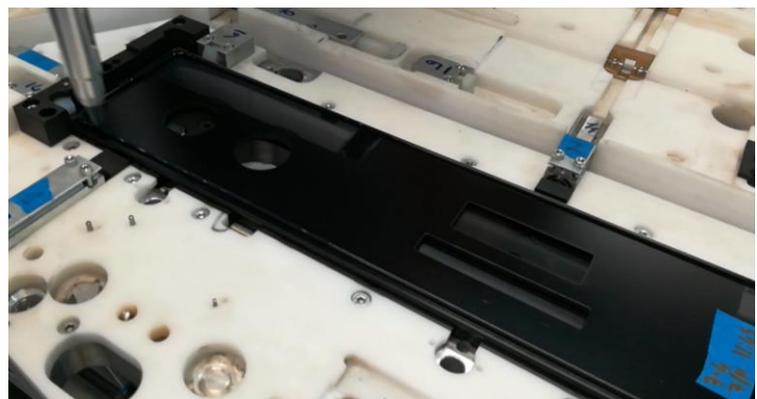


FASE 2

Dopo aver lasciato reticolare il silicone con i pezzi a riposo sotto la pressione di alcuni pistoni per circa 30 minuti si è passati alla fase successiva ovvero l'incollaggio col pannello metallico.

La siliconatura è stata eseguita sul perimetro del vetro e per incastro con la dima si è montato sopra il pannello metallico. Le caratteristiche del processo sono:

- Nessun trattamento sul vetro
- Trattamento al plasma sulla superficie d'incollaggio del pannello metallico (manuale)
- Velocità ugello: 0.12 m/s





FASE 3

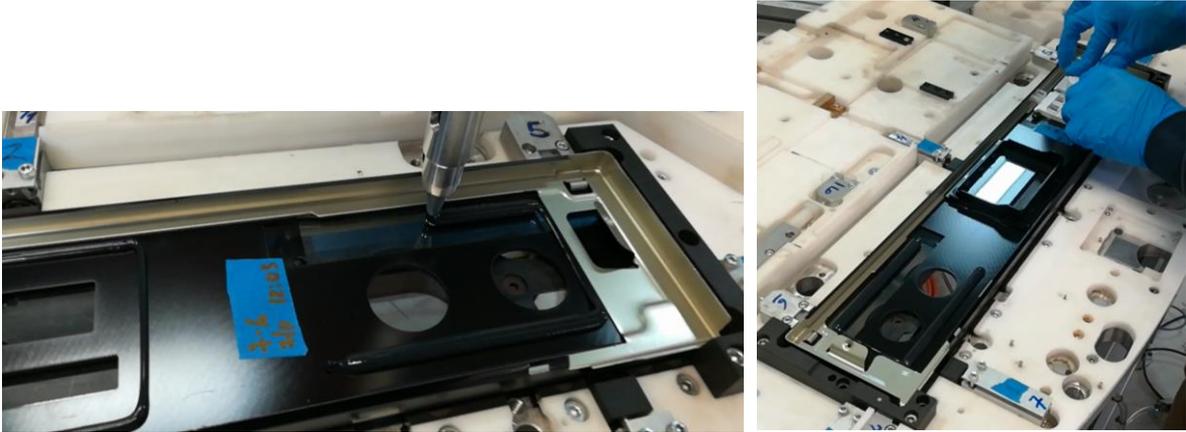
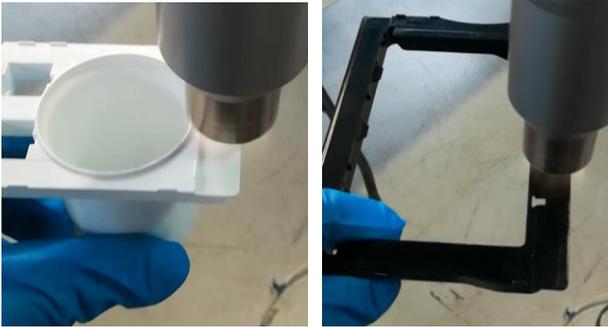
L'incollaggio del SET e dei PIPO segue i procedimenti già visti in casi precedenti: prima vengono plasmati i supporti da incollare sulle superfici di incollaggio, in seguito si inizia la siliconata sul pannello e si procede a fissare manualmente sul silicone i relativi supporti.

Le caratteristiche di processo per la realizzazione di questi 10 pezzi sono:

- Nessun trattamento sul vetro.
- Trattamento al plasma per SET e PIPO (manuale).
- Velocità ugello: 0.02 m/s per i PIPO; per il SET invece 0.05 m/s per i lati superiore e inferiore, 0.1 m/s per i lati destro e sinistro.

In particolare per fare prove sulla quantità di silicone ottimale inizialmente si è usato una velocità dell'ugello di 0.08 m/s per il modello 7.1, in seguito una velocità di 0.06 m/s per il 7.2 e una velocità di 0.04 m/s per il 7.8. Tutti gli altri modelli sono stati realizzati con la velocità sopracitata nelle caratteristiche di processo. Fondamentalmente si cercava di trovare sperimentalmente la velocità che permettesse un'ottimizzazione della dosatura di silicone da applicare per evitare strabordi e sprechi inutili di silicone. In realtà al produttore non interessa se dopo l'incollaggio rimane una bava di silicone reticolato, perché queste parti sono tutte interne e non in vista, e quindi non visibili dall'utilizzatore finale del prodotto.

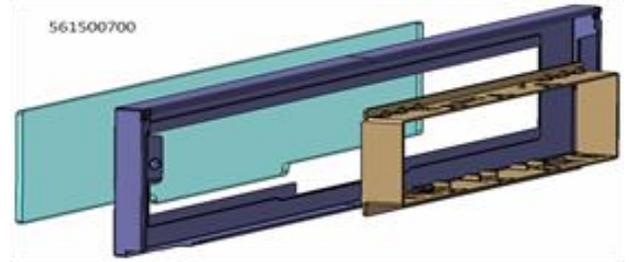
In seguito alcune immagini del processo:



Glass-out-3D painted White

La realizzazione di questo modello prevede due fasi di incollaggio:

1. Incollaggio vetro-pannello metallico
2. Incollaggio del VCU

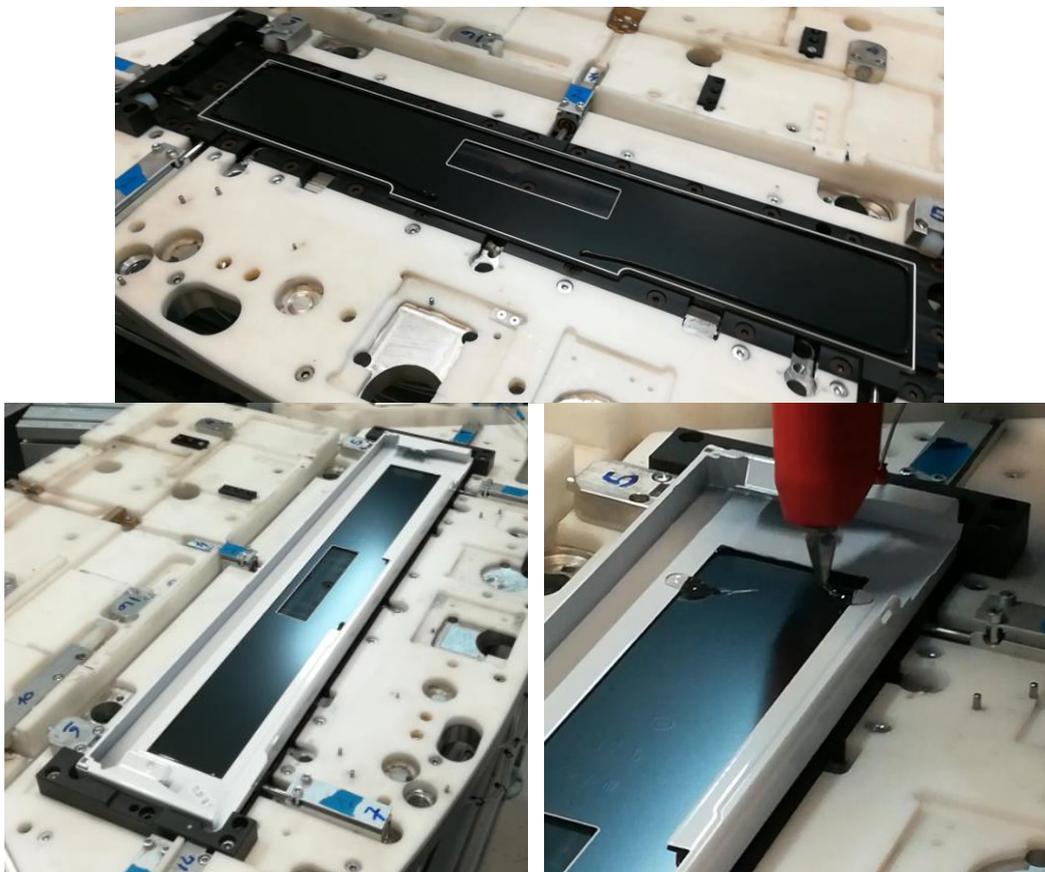


FASE 1

Fissato il vetro all'interno della dima con i pistoni ad aria compressa, si procede alla siliconatura del perimetro del vetro, su cui poi verrà appoggiato (tramite incastro sulla dima) il pannello metallico. Per aiutare il fissaggio della reticolazione si è applicato della colla liquida a caldo.

Caratteristiche di processo per realizzare i 10 pezzi:

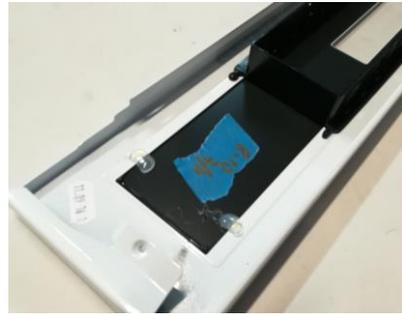
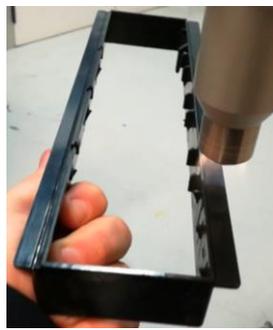
- Nessun trattamento sul vetro.
- Trattamento al plasma sulla superficie di incollaggio del pannello metallico.
- Flow rate: 38.3 cm³/min
- Velocità ugello: 0.12 m/s.



FASE 2

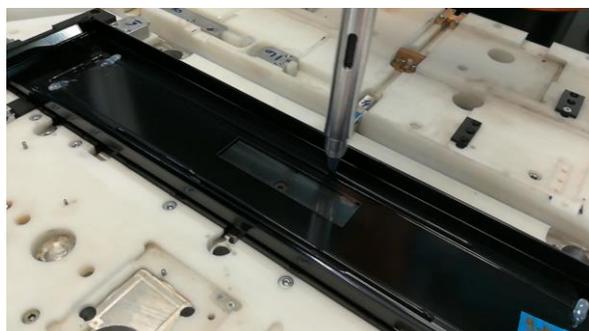
Incollaggio del VCU, che è un tipo particolare di SET leggermente più allungato. Caratteristiche di processo:

- Trattamento al plasma manuale sulle superfici di incollaggio del VCU e sulle superfici metalliche su cui andrà incollato.
- Flow rate: 38.3 cm³/min.
- Velocità ugello: 0.08 m/s.



Glass-out-3D painted Black

Questi 10 componenti devono essere trattati allo stesso modo dei precedenti, l'unica differenza sta nel tipo di pannello che è verniciato di un color nero, così come il vetro.



Glass-out-3D SS

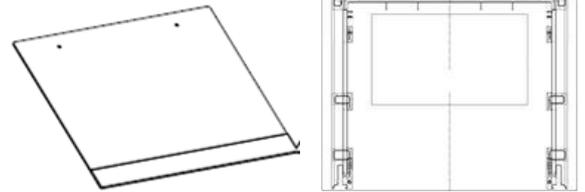
Di questo modello abbiamo realizzato solamente 9 pezzi, poiché i componenti di uno mancavano nella spedizione del cliente. Inoltre siccome i pannelli sono in acciaio inossidabile, prima di essere processati come i precedenti modelli GLASS-OUT 3D devono essere trattati con il Sika® Aktivator-205 nelle zone di incollaggio.



3.3. BI Access Door

Questo componente è uno dei classici sportelli in vetro dei forni della multinazionale. Per la realizzazione occorrono due fasi di incollaggio:

1. Incollaggio del supporto interno in plastica sul vetro.
2. Incollaggio dei Décor sul vetro.

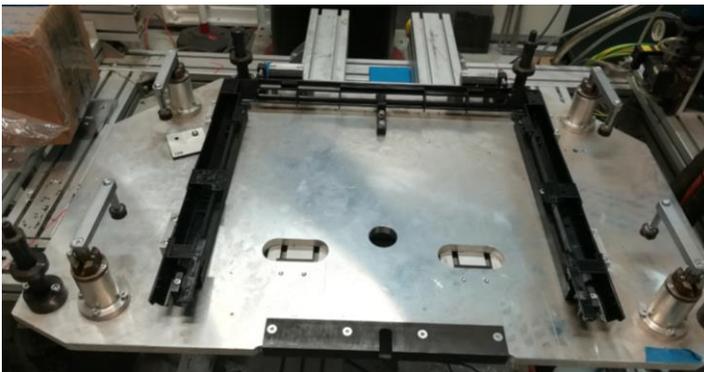


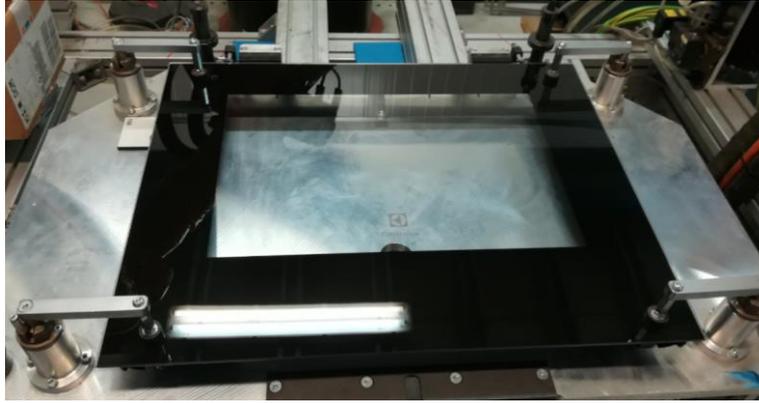
FASE1

L'incollaggio iniziale prevede la siliconatura del supporto in plastica e il successivo fissaggio del vetro. Per far ciò si è montato il supporto in plastica su una dima particolare che permettesse il bloccaggio del supporto stesso. Una volta realizzata la siliconatura la dima permetteva tramite incastro di posizionare correttamente il vetro e tenerlo in spinta sul supporto tramite un sistema di pressa con ganci. Dopo aver messo in pressa il vetro, era necessario aspettare 30 min. affinché il silicone reticolasse in maniera tale da garantire un buon fissaggio.

Caratteristiche di processo:

- Nessun trattamento sul vetro.
- Trattamento manuale al plasma sulla superficie da siliconare del supporto in plastica.
- Flow rate: $38.3 \text{ cm}^3/\text{min}$
- Velocità ugello: 0.075 m/s



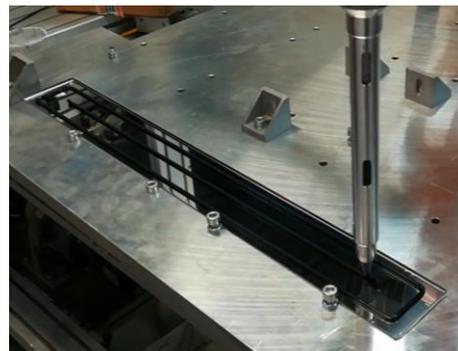


FASE 2

La seconda parte dell'incollaggio prevedeva il fissaggio sul vetro del Décor apposito, ovvero una mascherina di acciaio verniciato di bianco esternamente (catalogata come Décor Trim White), posta nella parte inferiore del vetro.

Caratteristiche di processo:

- Nessun trattamento sul Décor.
- Flow rate: 38,3 cm³/min.
- Velocità ugello: 0.075 m/s.





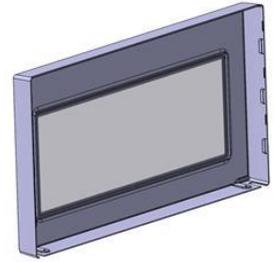
Alla fine della lavorazione di questo componente bisogna specificare che la richiesta del cliente sarebbe stata di 20 pezzi, ma nel materiale che ci è stato fornito erano presenti soli 10 supporti in plastica.

Per questo motivo si è realizzato interamente solo 10 pezzi, mentre sui restanti 10 vetri atti a questo modello si è incollato un altro tipo di Décor, di dimensioni ridotte e interamente in acciaio inossidabile (catalogato come Décor Trim Mini). Diciamo che in questo modo si è realizzato una serie di modelli incompleti, ma, per lo studio della multinazionale per la tenuta dell'incollaggio col nuovo silicone SIKA, dovrebbe essere sufficiente per i vari test.



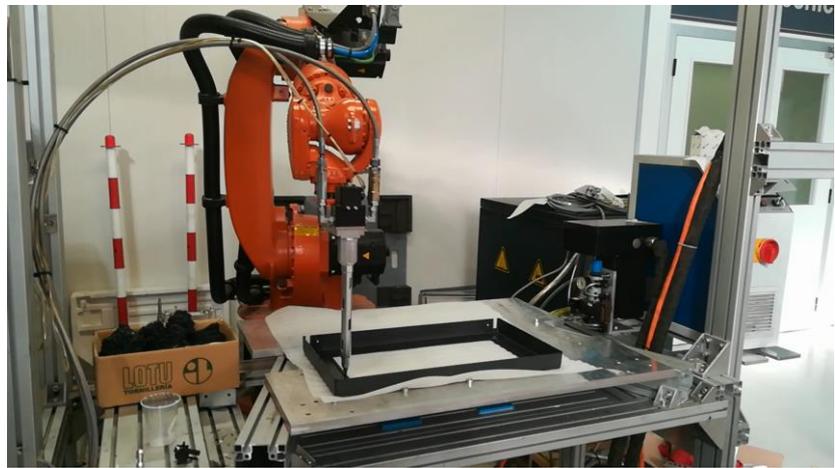
3.4. Inner Door

Questo modello è la parte interna di alcune tipologie di sportelli per forni. L'incollaggio col silicone è molto semplice, occorre solamente siliconare la parte interna del supporto in plastica per poter fissare il vetro. Per questo pezzo si è sfruttata una dima piana, su cui si è montato dei puntalini per permettere di posizionare il supporto in plastica con lo stesso riferimento per ogni siliconatura.



Le caratteristiche del processo sono:

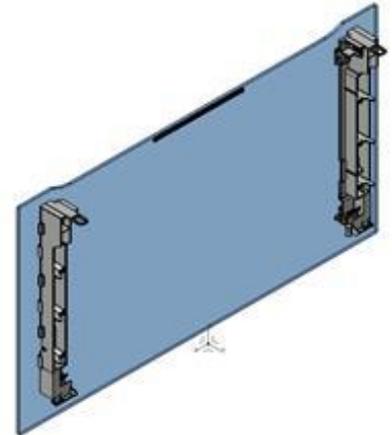
- Nessun trattamento sul vetro.
- Trattamento manuale al plasma sulla zona di incollaggio del supporto in plastica.
- Flow rate: 38,3 cm³/min.
- Velocità ugello: 0.15 m/s.
- Quantità: 20 pezzi.



3.5. Front Door

Questo modello prevede l'incollaggio di supporti in plastica interni al vetro, che farebbe da sportello di uno delle tipologie di forni. Sono presenti due tipologie di Front Door, che ho distinto in base alle dimensioni:

- Front Door Big
- Front Door Small (Ariane/Opole)



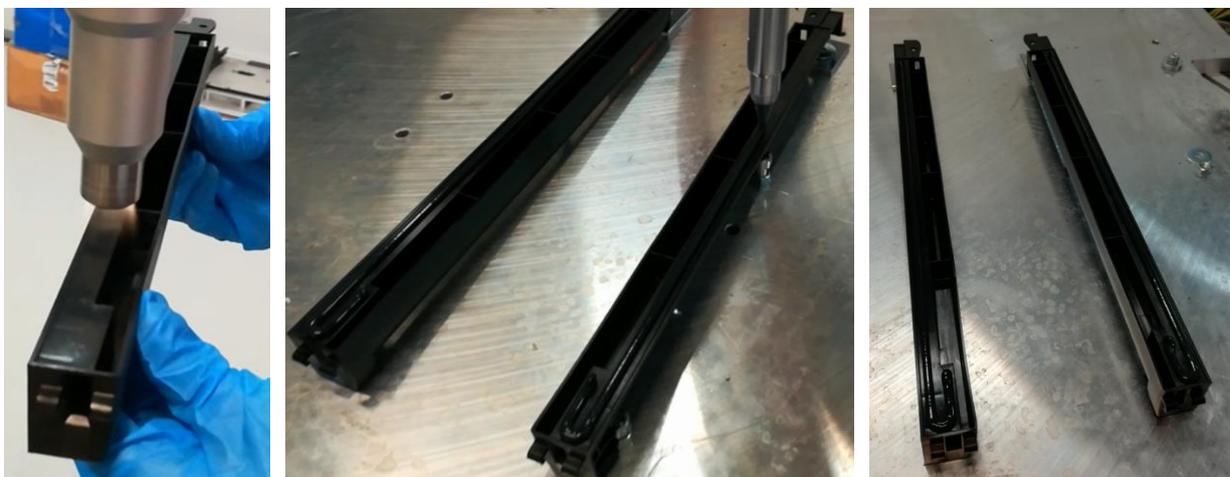
Per la realizzazione di entrambe si è dapprima siliconato i supporti in plastica, appoggiati su una dima piana con supporti montati appositamente per avere dei riferimenti precisi. In seguito si è passati all'incollaggio dei supporti sul vetro, usando del tape incollato precedentemente sul vetro per avere un riferimento per il posizionamento manuale. In particolare i Front Door Big prevedevano l'incollaggio successivo di un Décor in acciaio inossidabile (catalogato come Décor Trim Big).

Front Door Big

FASE 1

Caratteristiche di processo:

- Nessun trattamento sul vetro.
- Trattamento manuale al plasma per i supporti in plastica.
- Flow rate: 38,3 cc/min.
- Velocità ugello: 0,05 m/s.
- Quantità: 10 pezzi.





FASE 2

Incollaggio décor trims Stainless steel, caratteristiche di processo:

- Nessun trattamento sul vetro.
- No trattamenti sui Dècor per richiesta del cliente.
- Flow rate: 38,3 cc/min.
- Velocità ugello: 0,06 m/s.



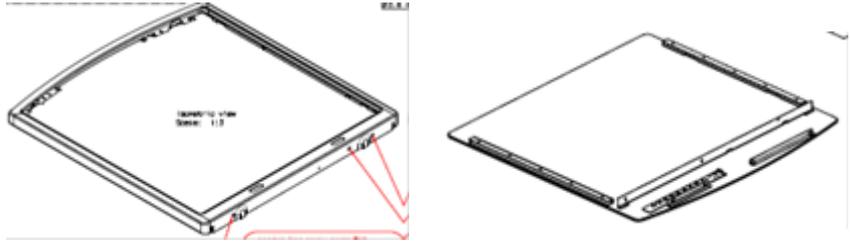
Front Door Small (Ariane/Opole)

Caratteristiche di processo:

- Nessun trattamento sul vetro
- Trattamento manuale al plasma per i supporti in plastica
- Flow rate: 38,3 cc/min.
- Velocità ugello: 0,07 m/s



3.6. Cooktops



Questo modello prevede la realizzazione di piani di cottura in vetro-ceramica, divisi fondamentalmente in due diversi modelli: uno con pomelli e l'altro senza, quindi per un totale di due programmi di siliconatura differenti, ognuno dei quali segue il perimetro interno del supporto in metallo su cui andrà fissato il pannello in vetro-ceramica. Inoltre alcuni dei modelli necessitano l'incollaggio di alcuni Décor da piazzare nella parte inferiore del pannello in vetroceramica. Per descrivere il lavoro realizzato e le caratteristiche di processo quindi si passerà per due fasi: la prima in cui incollerò tutti i vetri e la seconda in cui verranno incollati i Décor.

La prima distinzione da fare è sui modelli:

- Supporto senza pomelli:
 - Cooktop Painted Silver (10 pz).
- Supporto con pomelli:
 - Cooktop Painted White (9 pz, uno rotto per un errore durante il fissaggio del vetro).
 - Cooktop Painted Black (10 pz).
 - Cooktop SS (10 pz).

FASE 1: Incollaggio pannelli vetro-ceramica.

Prima di tutto analizziamo le caratteristiche di processo dei piani cottura SENZA pomelli, ovvero il modello Cooktop Painted Silver:

- Nessun trattamento sul vetro.
- Trattamento manuale al plasma sul supporto.
- Flow rate: 76,6 cc/min (in particolare 70 parti di componente bianca e 6,6 di quella nera, doppio rispetto al solito!).
- Velocità ugello: 0.1 m/s.
- Nota: l'ugello si muove con un'inclinazione di 15° verso il centro del supporto per evitare collisioni con la cornice ricurva del pezzo.

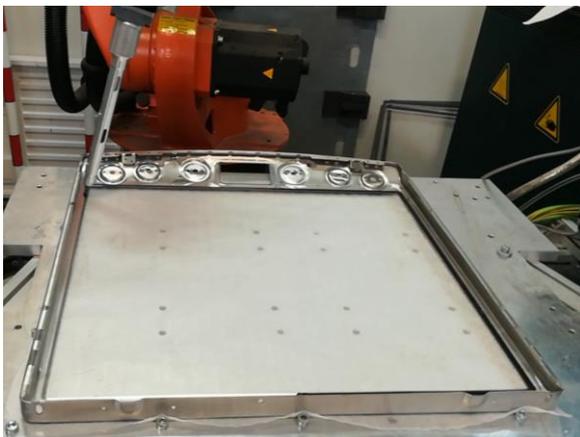


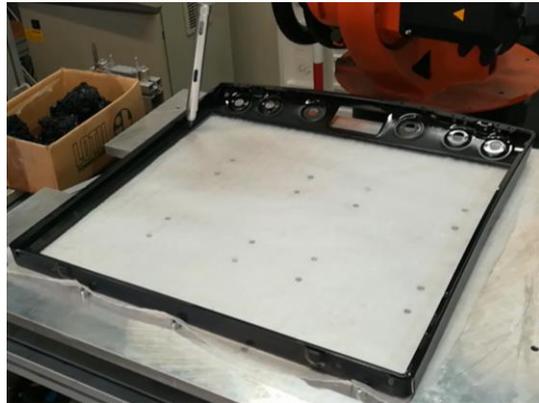


In secondo luogo analizziamo le caratteristiche di processo dei piani cottura CON pomelli:

- Nessun trattamento sul vetro.
- Trattamento manuale al plasma sui supporti black and white.
- Applicazione manuale del Sika® Aktivator-205 sul supporto SS (Stainless Steel: acciaio inossidabile).
- Flow rate: 76,6 cc/min (in particolare 70 parti di componente bianca e 6,6 di quella nera, doppio rispetto al solito!).
- Velocità ugello: 0.08 m/s.
- Nota: l'ugello si muove con un'inclinazione di 15° verso il centro del supporto per evitare collisioni con la cornice ricurva del pezzo.
- Errore di fissaggio, per la troppa pressione applicata manualmente, che ha portato alla rottura del vetro dell'ultimo modello verniciato in bianco (cooktop painted white)

Di seguito alcune immagini del processo:





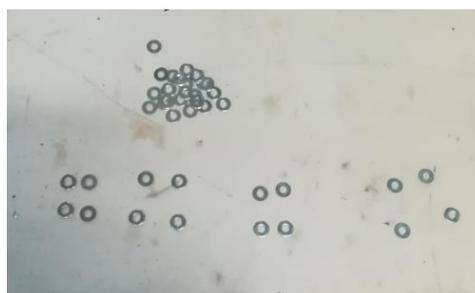


FASE 2: Incollaggio Décor.

I Décor sono di tipi differenti, e si possono classificare secondo le dimensioni. Per comodità li chiameremo:

- Décor Big, incollati sui Cooktop con pomelli Black (10pz).
- Décor Medium, incollati sui Cooktop con pomelli SS (5pz).
- Décor Small, incollati sui Cooktop con pomelli White(5pz).
- Décor Mini, incollati sui Cooktop con pomelli White(5pz).

Ogni tipologia necessita di una linea di silicone posizionata vicino al perimetro del pannello di vetro e di due rondelle, che vanno posizionate tra silicone e pezzo vicino alle estremità del pezzo. Le rondelle sono le seguenti:



Caratteristiche generali di processo:

- Nessun trattamento sul vetro e sul Décor.
- Posizionamento manuale dei Décor e delle rondelle, sulla siliconata precedentemente fatta sul vetro.
- Flow rate: 38,3 cc/min.

Queste caratteristiche sono tutte comuni alle diverse tipologie, ora si analizzerà le loro differenze, che sostanzialmente si basano sulla velocità dell'ugello e sulla differenza di percorso.

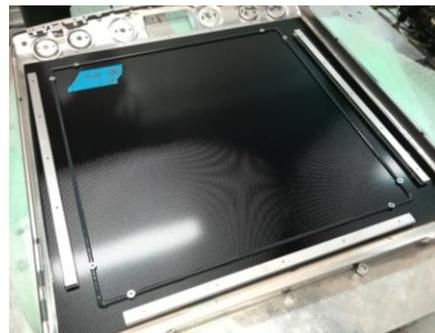
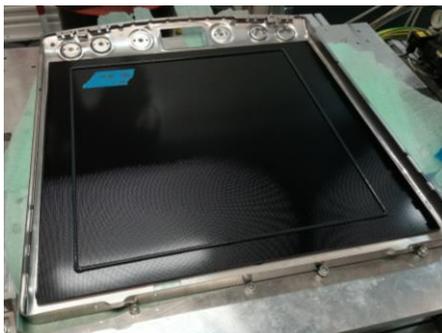
Décor Big

Per questo modello, il percorso dell'ugello sono due linee orizzontali, una nella parte superiore, l'altra in quella inferiore del vetro. Velocità dell'ugello: 0.06 m/s.



Décor Medium

Per questo modello, il percorso dell'ugello è un rettangolo interno al vetro, di cui non ci si preoccupa degli eccessi di silicone (gli angoli) in quanto la parte in questione non è in vista. Velocità dell'ugello: 0.04 m/s.

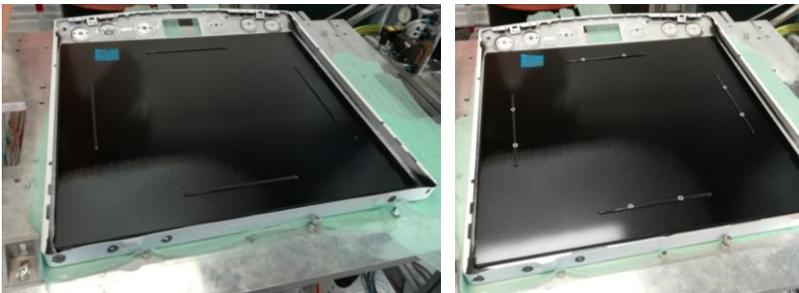




Décor Small and Mini

Per questi modelli, si è usato lo stesso percorso: 4 righe, centrate e poste a una certa distanza dal bordo del pannello in vetro-ceramica. Si sfrutta sempre il fatto che questa parte non è in vista, quindi gli strabordi che si hanno per il modello Mini non inficiano il risultato del prodotto.

Velocità dell'ugello: 0.06 m/s.



Capitolo 4. Conclusione

Da questa importante esperienza, ho potuto imparare a movimentare un robot KUKA e a lavorare in un ambiente molto dinamico e preparato.

Il lavoro si è rivelato più semplice del previsto grazie al sostegno dei miei tutor all'interno dell'azienda ovvero l'ingegnere Paolo Zoffoli e il tecnico Vanni Bartomeoli, che mi hanno seguito durante tutto il percorso e aiutato in caso di difficoltà. Nella parte di formazione iniziale si è prestato molta attenzione, in particolare nelle prime due settimane, alla movimentazione corretta del robot per non incappare in situazioni di pericolo.

L'obiettivo principale della mia tesi, cioè la progettazione dei percorsi del robot KUKA e la scelta dei giusti parametri di processo per ottenere una buona siliconatura su ogni componente, è stato completato con successo. Per ottenere una buona realizzazione, l'ing. Zoffoli, grazie alla sua esperienza sul campo, mi convalidava i percorsi mano a mano che li realizzavo prima dell'attuazione del piano di incollaggio vero e proprio dei componenti.

In questo modo si è potuto creare tramite WorkVisual, un ricettario completo per la realizzazione della siliconatura dei modelli con il robot KUKA, che può essere facilmente riutilizzato con qualche modifica per la programmazione di nuovi percorsi di siliconatura per eventuali nuovi modelli.

Chiaramente l'obiettivo dell'azienda era invece quello di soddisfare la commessa della multinazionale, che comprendeva la realizzazione fisica dei campioni da loro richiesti tramite gli incollaggi per poi validare attraverso test, che faranno nella loro sede, la nuova tipologia di silicone. Durante il mio tirocinio, che è stato quindi di natura prettamente pratica piuttosto che di ricerca teorica, si è cercato di soddisfare al meglio questa richiesta.

Non è stato possibile effettuare esperimenti per confrontare i due tipi di silicone, poiché il test era di competenza della multinazionale. Infatti all'interno dell'elaborato ho inserito i dati provenienti da una ricerca sulle schede tecniche delle due tipologie di silicone. Uno sviluppo futuro del mio lavoro potrebbe essere una replica con l'altra tipologia di silicone, ovvero quella classica del Dow Corning, per poter studiare in maniera più pratica e sperimentale le differenze.

Sicuramente il lavoro è stato gratificante perché mi ha permesso di imparare nuove tecnologie e linguaggi di programmazione, sempre nell'ottica di realizzare una commessa per la mia azienda ospitante, che è andata a buon fine.

Bibliografia e sitografia

- “Training, Programmazione robot 1 - KUKA System Software 8 - Documentazione del seminario” – Edizione: 16.01.2015 - Versione: P1KSS8 robot programming 1 (R2) V4
- “Training, Programmazione robot 2 - KUKA System Software 8 - Documentazione del seminario” – Edizione: 23.02.2015 - Versione: P2KSS8 robot programming 2 (R2) V4
- <https://gbr.sika.com/dms/getdocument.get/69db264b-a1f4-3e50-b4e7-b383a6508800/Sika>
- https://www.ulbrich-group.com/chemical-technical-products/TDS_DOW_CORNING_EA_2626_Two_Part_Silicone_Adhesive.pdf