

POLITECNICO DI TORINO

**Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Meccanica**

Tesi di Laurea Magistrale

**Studio per l'automazione di un processo
nell'industria alimentare**



Relatore

prof. Stefano Mauro

Candidato

Francesco Dianzani

A.A.2018-2019

Abstract

È stato svolto uno studio finalizzato all'automazione di un processo di confezionamento di semilavorati per l'industria dolciaria. Da una prima analisi dello stato attuale del processo, è emerso che la principale criticità nello svolgimento delle operazioni è relativa a un problema di ergonomia in quanto tutte le operazioni vengono svolte manualmente configurando un lavoro logorante. L'obiettivo dello studio è dunque di individuare una soluzione produttiva differente che possa ridurre o eliminare gli aspetti logoranti del lavoro a sostegno degli operatori, senza andare a intaccare la produttività dello stabilimento. Dopo aver analizzato operazioni e tempi del processo produttivo, è stata valutata la possibilità di ampliare l'utilizzo di un sistema pneumatico, già parzialmente impiegato, all'intera produzione. Le criticità in termini di pulizia, tempi, scarti, integrità dei prodotti hanno però portato a escludere tale ipotesi. È stata evidenziata la necessità di sviluppare un sistema flessibile in grado di adattarsi alla grande variabilità dei prodotti e agli standard igienici richiesti dal processo in studio. Si è deciso dunque di integrare la linea produttiva mediante l'inserimento di un robot collaborativo in grado di sostituire l'uomo nello svolgimento delle operazioni logoranti. È stata svolta l'analisi dello stato dell'arte dei robot collaborativi presenti sul mercato, individuando alcuni parametri di confronto sulla base dei quali sono dunque state elaborate alcune tabelle comparative. Scopo di tali tabelle era di fornire un supporto alla scelta ottimale di un robot collaborativo nell'ambito dell'applicazione in studio. La scelta è ricaduta su un robot collaborativo e non tradizionale in risposta all'esigenza di flessibilità dell'azienda, che è in continua evoluzione, alla ridotta dimensione dei lotti, agli spazi di lavoro limitati e alla necessità di svolgere alcune operazioni a stretto contatto con un operatore. Mediante l'utilizzo delle tabelle precedentemente elaborate sono stati individuati i robot idonei, e tra questi è stato scelto il modello UR10e della Universal Robots. È stata dunque sviluppata una simulazione dei movimenti del robot in un ambiente virtuale al fine di verificarne l'applicabilità e stimarne i tempi e la produttività. In tale contesto si è dovuto tener conto della variabilità del livello del liquido all'interno delle vasche e della dimensione delle vasche stesse. Sono stati quindi selezionati e integrati nel progetto i sensori necessari allo svolgimento del lavoro. Successivamente è stata svolta una procedura per l'individuazione e la riduzione dei rischi che ha portato alla definizione delle misure di sicurezza necessarie a rendere l'applicazione conforme alle norme di sicurezza vigenti. È stata infine verificata la validità economica dell'investimento, individuando un potenziale abbattimento dei costi variabili di produzione.

Indice

Abstract.....	1
INTRODUZIONE.....	7
1. Analisi del contesto	9
1.1. L'industria alimentare	9
1.2. L'azienda.....	10
1.3. Il prodotto.....	10
1.4. La produzione.....	11
1.5. La postazione di lavoro	13
1.6. Il processo	14
1.7. Analisi dei tempi e criticità	17
1.8. Automazione tramite pompa volumetrica	18
1.8.1. Analisi del problema	18
1.8.2. Valutazione applicativa	19
1.8.3. Valutazione economica	22
2. La robotica collaborativa.....	25
2.1. La collaborazione uomo-robot	25
2.2. La sicurezza nelle applicazioni collaborative.....	26
2.3. Stato dell'arte dei robot collaborativi.....	27
2.3.1. ABB, IRB 14000 YuMi.....	28
2.3.2. Universal Robots	30
2.3.3. FANUC	33
2.3.4. KUKA	36
2.3.5. Comau	39
2.3.6. Rethink Robotics	40
2.3.7. Stäubli.....	41
2.3.8. Yaskawa	42
2.3.9. Productive Robotics	45
2.3.10. Techman Robot.....	46
2.3.11. AUTOMATA.....	47
2.3.12. MABI Robotic	48
2.3.13. Kawada Robotic.....	49
2.3.14. Hanwha Techwin	50

2.3.15.	AUBO Robotics	52
2.4.	Tabelle comparative	53
2.5.	Riferimenti schede tecniche.....	59
3.	Progettazione dell'applicazione collaborativa.....	61
3.1.	Scelta del robot collaborativo	61
3.2.	La postazione di lavoro.....	62
3.2.1.	Il gripper	62
3.2.2.	L'utensile	64
3.2.3.	Le Vasche	64
3.2.4.	Modello CAD della postazione di lavoro	65
3.3.	Programmazione del robot.....	65
3.3.1.	Impostazioni iniziali	65
3.3.3.	La traiettoria del robot	67
3.3.4.	Il programma	67
3.3.5.	Il sensore di livello	69
3.3.6.	Cover protettiva	70
3.4.	Simulazione dell'operazione collaborativa.....	70
3.5.	Calcolo dei tempi.....	72
3.6.	Analisi tempi applicata	74
4.	Analisi della sicurezza	77
4.1.	Analisi e riduzione del rischio	77
4.2.	Limitazione della forza e della potenza	82
4.2.1.	Pericolo ID 1	86
4.2.2.	Pericolo ID 2.....	87
4.2.3.	Pericolo ID 3.....	88
4.2.4.	Conclusioni.....	88
4.3.	Calcolo della distanza minima.....	89
4.4.	Dispositivi per la sicurezza della postazione	91
4.5.	Misure di sicurezza attuate	92

5. Valutazione economica dell'investimento	95
Conclusioni	97
Bibliografia e sitografia	99
APPENDICE.....	101

INTRODUZIONE

L'industria alimentare italiana, secondo i dati ISTAT del 2016, costituisce il secondo settore manifatturiero del Paese dopo quello meccanico. Secondo i dati raccolti negli ultimi anni, l'interesse dei consumatori sembra premiare sempre più i prodotti alimentari caratterizzati da innovazioni di prodotto e di processo. In accordo con tale tendenza risulta necessario un approfondimento sulla tecnologia per produrre prodotti tradizionali. Sebbene molti processi siano stati sviluppati e consolidati nel tempo, attraverso a un'attenta analisi si potranno infatti individuare rilevanti miglioramenti di processo ancora attuabili.

Questo studio si sviluppa in linea con questa sfida alla quale l'industria alimentare italiana è stata chiamata negli ultimi vent'anni ed è stato realizzato in collaborazione con un'azienda piemontese che opera nel campo dei semi-lavorati per l'industria dolciaria con l'obiettivo di progettare l'automazione di una procedura di confezionamento di paste cotte e anidre, attualmente svolta da due operatori mediante operazioni manuali usuranti.

Nella prima parte si analizza lo stato attuale del processo produttivo oggetto dello studio, soffermandosi sulle particolarità dei prodotti trattati e sulle scelte di mercato operate dall'azienda. Dopo aver individuato i principali limiti dell'attuale sistema produttivo, insorti in seguito alla una crescita esponenziale dell'azienda avvenuta negli ultimi anni, si cercherà una soluzione automatica in grado di far fronte a tale crescita. A una soluzione più tradizionale, mediante l'utilizzo di pompe, seguirà lo studio di un sistema automatizzato innovativo mediante l'utilizzo di un robot collaborativo.

Nella seconda parte di questo studio viene dunque sviluppato il progetto di un'applicazione collaborativa nell'ottica di miglioramento di processo non solo in termini di efficienza produttiva, ma soprattutto di miglioramento delle condizioni di lavoro. È inizialmente effettuata un'analisi dei robot collaborativi presenti sul mercato al fine di individuare la soluzione più idonea a questa applicazione. Lo scopo è sviluppare un sistema automatico che permetta di eliminare le criticità ergonomiche per gli operatori senza modificare in modo sostanziale il layout attuale, mantenendo la produttività e limitando al massimo il costo dell'investimento. Alla progettazione della postazione di lavoro e alla programmazione del robot seguirà un'analisi per valutare l'efficacia e l'efficienza del processo.

I robot collaborativi rappresentano una soluzione altamente innovativa che risponde alle esigenze di flessibilità e versatilità dell'industria moderna, ma richiedono una particolare attenzione per quanto riguarda l'aspetto della sicurezza. Infatti, questi dispositivi, che lavorano a stretto contatto con l'uomo, possono essere integrati esclusivamente quando sia garantita la sicurezza dell'operatore. Pertanto, prima di effettuare l'analisi economica dell'investimento, sarà svolta un'analisi della sicurezza della postazione di lavoro, al termine della quale saranno individuate le precauzioni da prendere per garantire che il robot non possa arrecare danni ai soggetti presenti nello stabilimento.

1. Analisi del contesto

1.1. L'industria alimentare

L'industria alimentare iniziò a svilupparsi in seguito a scoperte chimico-biologiche ottenute nel corso della seconda rivoluzione industriale. Un ruolo chiave ha avuto Pasteur che dimostrò che la fermentazione degli alimenti avveniva a causa dell'azione di microrganismi contaminanti e sviluppò un processo, che da lui prese il nome di *pastorizzazione*, mirato a eliminare questi microrganismi e favorire la conservazione di diversi prodotti alimentari. Altri studi riguardarono il congelamento degli alimenti, ma l'uso capillare di questa metodica di conservazione si scontrava con la necessità di avvalersi di una efficiente catena del freddo. Viceversa, un ruolo chiave per lo sviluppo dell'industria alimentare fu lo sviluppo dell'inscatolamento degli alimenti in scatole a chiusura ermetica. Tale sistema permise infatti di trasportare cibi deperibili a grande distanza, aprendo di conseguenza nuovi mercati. Il principale sviluppo di questo settore avvenne però solo nella seconda metà del Novecento, con la terza rivoluzione industriale durante la quale iniziarono ad essere introdotti i primi sistemi automatici di produzione e inscatolamento in grado di sostituire l'uomo [1].

Secondo i dati ISTAT del 2016, l'industria alimentare in Italia è seconda solo all'industria manifatturiera per numero di imprese, ma è il primo settore manifatturiero del paese per quanto riguarda il fatturato globale, pari a oltre i 133 miliardi di euro [2]. È stato inoltre riscontrato che l'interesse dei consumatori è sempre più indirizzato verso prodotti alimentari caratterizzati da innovazioni di prodotto e processo. Sebbene dunque l'industria alimentare italiana goda di una conoscenza basata su un'esperienza quasi secolare, che l'ha portata ad essere considerata globalmente un'eccellenza, si trova oggi nella necessità di entrare in un'ottica di innovazione tecnologica anche a livello di piccole aziende, investendo su adeguate professionalità e infrastrutture e ridefinendo i processi di trasformazione al fine di garantire la competitività e salvaguardare l'alta qualità dei prodotti della tradizione alimentare italiana. Questa esigenza richiede una attenta analisi delle tecnologie produttive dei prodotti tradizionali con l'obiettivo di individuare miglioramenti da apportare ai processi e agli impianti attualmente in uso, senza intaccare nella loro sostanza i processi sviluppati nel tempo in modo empirico che garantiscono la qualità del prodotto [3]. Un altro aspetto di sempre maggiore importanza riguarda la varietà, novità e personalizzazione dei prodotti da offrire alle diverse nicchie di consumatori, che mette in primo piano l'attività dei settori di ricerca e sviluppo (R&D) delle aziende.

Un aspetto intrinseco a questo settore è quello relativo alla sicurezza alimentare, che è un prerequisito fondamentale della produzione e commercio di prodotti alimentari ed è strettamente regolamentata da opportune leggi e regolamenti. Poiché emergono continuamente nuove evidenze sui pericoli relativi a contaminanti chimici, fisici e biologici, questo campo risulta essere in continua espansione e richiede alle industrie sforzi sempre maggiori per salvaguardare e garantire l'integrità e sicurezza dei prodotti [3]. A questo discorso si lega anche la problematica delle allergie e intolleranze

alimentari che richiedono l'uso di specifiche linee produttive che escludano la contaminazione, anche in tracce, di queste sostanze in prodotti opportunamente certificati [3].

In questo capitolo si inquadrerà la realtà produttiva dell'azienda oggetto dello studio nel panorama internazionale. Partendo da una descrizione generale del prodotto, si analizzerà lo stato dell'arte del particolare processo produttivo preso in esame, individuandone punti di forza e di debolezza. Si procederà quindi alla descrizione della proposta di intervento.

1.2. L'azienda

Lo studio è stato effettuato su un processo produttivo di un'azienda alimentare piemontese che, dai primi anni '20, opera nel campo della produzione di semi-preparati per l'industria dolciaria. Con un fatturato compreso tra i 3 e i 6 milioni di euro e circa 20 dipendenti, è presente su un mercato globale. Se infatti circa il 50% della produzione è venduto sul territorio italiano, il restante 50% è destinato all'export, principalmente in Europa, Sud America e Medio Oriente. Risulta inoltre che il 98% della clientela è rappresentato da artigiani ed esclusivamente il 2% da altre realtà industriali. Punto di forza dell'azienda è l'area di ricerca e sviluppo, sulla quale viene investito ogni anno in modo consistente al fine di migliorare costantemente la qualità e la varietà dei prodotti. La scelta di puntare più sulla qualità e sulla personalizzazione dei prodotti che sui volumi di produzione ha portato l'azienda a crescere costantemente, con un indice che nell'ultimo triennio ha toccato il 15% annuo.

1.3. Il prodotto

Per comprendere le scelte che sono state effettuate nel corso di questo studio, è necessario soffermarsi in primo luogo sui prodotti che vengono confezionati a livello della postazione di lavoro presa in analisi. Le particolarità dei prodotti, gli standard igienici, il mercato e le scelte aziendali relative agli ordini influenzano infatti in modo radicale le soluzioni tecnologiche applicabili.

I prodotti confezionati nella postazione di lavoro in analisi possono essere suddivisi in due categorie principali: paste cotte e paste anidre.

Le paste cotte sono prodotti contenenti una percentuale d'acqua tipicamente compresa tra il 25% e il 35% e sono costituite principalmente da zuccheri. Al fine di ottenere una buona amalgama degli ingredienti, la giusta concentrazione del prodotto e garantirne la conservazione, le paste subiscono un trattamento termico che consiste in una cottura seguita da un repentino raffreddamento.

Le paste anidre sono invece prodotti con una percentuale d'acqua pari a circa il 3-4% e sono costituite principalmente da zuccheri e grassi. Non subiscono alcuna cottura, ma sono microbiologicamente stabili dato il basso contenuto di acqua.

Se una pasta cotta che aveva già subito il trattamento termico entra in contatto con una pasta anidra, viene contaminata da spore e microorganismi presenti in quest'ultima che non causano nessun problema nell'ambiente anidra, ma possono proliferare invece nelle condizioni ambientali (umidità e

sostanze nutritive) delle paste cotte, dando luogo a fermentazioni anomale. D'altra parte, se un prodotto anidro viene contaminato dall'acqua presente nelle paste cotte o residua dal lavaggio degli strumenti, l'aumento di umidità può causare sia l'irrancidimento degli acidi grassi presenti nella pasta anidra con conseguente produzione di *off-flavour* (odore e gusto di rancido), sia l'idratazione della parte fibrosa con conseguente variazione della viscosità del prodotto.

Un'ulteriore attenzione che si deve avere nel trattamento delle paste è legata all'aromatizzazione, che rappresenta un problema nel caso di contaminazione tra due paste con diverso aroma. Le paste cotte hanno aromatizzazioni molto più forti di quelle anidre e, a differenza di queste ultime, non possono essere mai mescolate a livello di processo. Viceversa, le paste anidre tollerano un piccolo grado di cross-contaminazione, ma occorre evitare di inquinare il prodotto con aromi indesiderati come potrebbe essere l'aroma di una pasta al caffè all'interno di una al cioccolato al latte. Un discorso simile riguarda la possibilità che cross-contaminazioni vengano a alterare il colore finale desiderato.

1.4. La produzione

L'azienda ha un suo punto di forza nella capacità di personalizzare i prodotti a seconda delle esigenze dei clienti, sviluppando prodotti sempre nuovi in grado di rispondere alle specifiche richieste degli stessi. Il mercato di competenza ha portato l'azienda a puntare sulla flessibilità in termini di variabilità dei prodotti e dimensione dei lotti. Dall'analisi della produzione annua risulta che nel 2019 sono stati venduti 246 prodotti diversi, 113 dei quali sono paste anidre e 133 paste cotte. Un'analisi dei volumi produttivi è mostrata nella Tabella 1 dove si può osservare che le paste anidre offrono una varietà di prodotti leggermente meno ampia rispetto a quelle cotte, ma coprono circa il 70% della produzione totale. Inoltre, è degno di nota il dato relativo alla pasta anidra più venduta, che copre il 10% della produzione totale, da cui si può dedurre che buona parte della produzione totale è concentrata su pochi prodotti trainanti.

Tabella 1.1 Vendite annue

Vendite	Kg	% tot
Singola pasta anidra più venduta	31396,2	10,3%
Singola pasta anidra meno venduta	49,1	0,016%
Singola pasta cotta più venduta	5464,3	1,8%
Singola pasta cotta meno venduta	52	0,017%
Paste anidre totali	213461,5	70%
Paste cotte totali	92557,45	30%
Totali	306019	

Per analizzare in dettaglio le dimensioni dei lotti prodotti, si è quindi approfondita l'analisi sulla produzione di luglio 2019 dalla quale sono stati ricavati i dati mostrati Tabelle 1.2 e 1.3.

Tabella 1.1 Produzione mensile Luglio 2019

	Produzione [kg]	N° lotti	Dim. Media lotti [kg]
Totale	48900	214	229
Media giornaliera	1956	8,6	239

Tabella 1.3 Produzione giornaliera Luglio 2019

Data	Produzione [kg]	N° lotti	Dim. Media lotti[kg]
01/07/2019	1720	7	246
02/07/2019	2680	7	383
03/07/2019	1780	8	223
04/07/2019	2530	7	361
05/07/2019	1425	10	143
06/07/2019	900	7	129
08/07/2019	2510	6	418
09/07/2019	1715	10	172
10/07/2019	1630	6	272
11/07/2019	2370	10	237
12/07/2019	920	7	131
15/07/2019	3230	7	461
16/07/2019	1485	7	212
17/07/2019	1910	12	159
18/07/2019	1590	8	199
19/07/2019	1675	6	279
22/07/2019	1640	8	205
23/07/2019	2405	10	241
24/07/2019	2965	13	228
25/07/2019	2200	13	169
26/07/2019	2400	9	267
27/07/2019	1195	8	149
29/07/2019	2140	11	195
30/07/2019	1950	11	177
31/07/2019	1935	6	323

L'analisi dimostra che i lotti prodotti giornalmente hanno una dimensione media pari a 239 kg, ma con un range relativamente ampio compreso tra 143 e 418 Kg, a cui corrisponde una produzione media giornaliera di 1956 Kg con un range compreso tra 900 e 3230 Kg (Tabella 1.2-1.3). Inoltre, la dimensione dei lotti è risultata molto variabile con valori massimi di 1110 kg e minimi di soli 50 kg. La distribuzione complessiva della dimensione dei lotti è mostrata in Figura 1.1, da cui si rileva che la maggior parte dei lotti ha una dimensione compresa tra i 61 kg e i 280 kg.

Un'ulteriore osservazione va fatta in relazione all'eterogeneità dei prodotti, in quanto tra i 214 lotti confezionati nel mese di luglio 2019 è possibile distinguere oltre 140 prodotti differenti. La grande flessibilità richiesta alla linea produttiva nel corso dell'anno ha indotto l'azienda a prediligere azioni manuali rispetto a sistemi automatizzati.

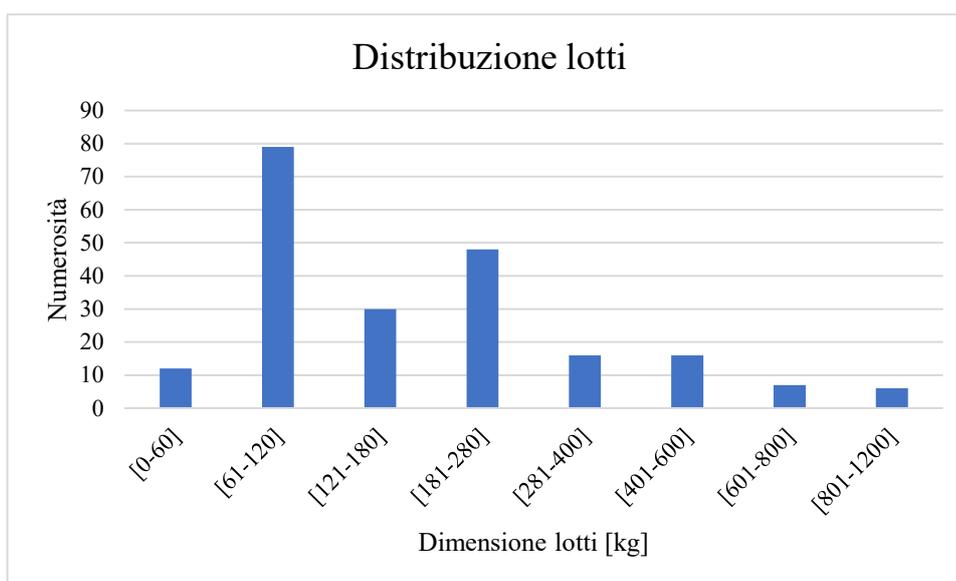


Figura 1.1 Distribuzione lotti

1.5. La postazione di lavoro

La postazione di lavoro oggetto dello studio occupa una superficie pari a 5000x4500 mm ed è fornita di un bancale di dimensioni 1500x2000x600 mm posizionato a una distanza di 750 mm dal macchinario necessario a termo-sigillare e chiudere i barattoli di prodotto avente un ingombro al suolo pari a 2500x2500 mm. Ad una distanza di 750 mm da quest'ultimo è disposto il pallet per la movimentazione interna allo stabilimento sul quale viene stoccato il prodotto finito.

Su un lato del bancale è predisposta una bilancia di dimensioni 300x300x70 mm posizionata su uno sgabello di dimensioni 300x300x530 mm in modo da risultare alla medesima altezza del bancale. È inoltre presente un carrello sul quale sono disposti gli strumenti necessari a svolgere l'operazione quali: scivoli per regolarizzare il flusso di prodotto, pentolini con capienza di circa 1,5 L necessari al

travaso, spatole in plastica (dette tarocchi) necessarie a svolgere l'operazione di tarocatura¹ a fine lotto, un panno per l'eventuale pulizia esterna dei barattoli, alcuni panni per la pulizia della postazione, uno spruzzino contenente alcol alimentare da utilizzare per determinati prodotti. Il materiale presente sul carrello consente di portare a termine fino a 4 lotti differenti senza necessità di rifornire la postazione.

A lato della bilancia vengono disposte le vasche colme di prodotto, che possono essere collocate su un carrello fisso o su un carrello con elevatore manuale che consente il giusto posizionamento. Le vasche possono essere di varie forme e grandezze in funzione del prodotto e della dimensione del lotto. Attualmente la vasca avente dimensione maggiore è una pentola in acciaio con diametro 1100 mm, altezza 550 mm e capienza 400 L; quella più piccola è invece una bacinella in plastica tronco conica avente diametro minimo 530 mm, diametro massimo 630 mm altezza 600 mm e capienza 159 L. I barattoli, infine, sono in plastica, hanno diametro e altezza pari a 185 mm e una massa di 145 g.

1.6. Il processo

Nella postazione lavorano due operatori (operatore-1 e operatore-2) che in fasi diverse del processo possono collaborare in una stessa operazione oppure lavorare in parallelo. In fase di setup della postazione ad inizio turno l'operatore-1 predispone la documentazione e prepara il macchinario di chiusura dei barattoli disponendo la pellicola e i coperchi e settando i parametri macchina. L'operatore - invece prepara il carrellino attrezzi e preleva dal magazzino, situato a circa 30m al piano superiore, i barattoli vuoti disposti in pile e li posiziona sul bancale. Le grandi dimensioni del piano di lavoro consentono di posizionare 200 barattoli vuoti in postazione. Il periodico rifornimento della postazione viene effettuato dagli operatori stessi che, a inizio lotto, si devono assicurare di avere a disposizione tutto il materiale necessario per completare l'operazione, i barattoli disposti in pile di circa 30 elementi, vengono prelevati dal magazzino dagli operatori stessi all'incirca 3 volte al giorno.

La vasca di prodotto può essere portata in postazione e posizionata da un terzo operatore proveniente dall'area di lavoro adiacente, oppure può essere prelevata dagli stessi operatori-1 e -2 dal magazzino di buffer posto a circa 15m dalla loro postazione di lavoro. La vasca viene fatta scivolare sull'apposito carrello e posizionata all'altezza adeguata a favorire i movimenti dell'operatore. Successivamente vengono compilati i documenti dell'ordine da uno dei due operatori. terminate le operazioni di setup ha inizio il confezionamento del prodotto. In questa fase l'operatore-2 è responsabile del travaso della pasta dalla vasca ai barattoli. In questa operazione deve prelevare un barattolo dal bancale, posizionarlo sopra alla bilancia e iniziare il travaso utilizzando un mestolo avente una capienza di circa 1,5 L. In ciascun barattolo devono essere confezionati 4kg di prodotto con un errore massimo

¹ **Tarocatura:** termine utilizzato nel processo produttivo per indicare l'operazione di raschiatura dei bordi della vasca mediante l'utilizzo di un tarocco.

di +1 g. L'operazione di riempimento e svuotamento del mestolo deve essere ripetuta circa quattro volte per riempire ciascun barattolo (Figura 1.2). Dopo aver travasato la giusta quantità di prodotto, l'operatore-2 sposta il barattolo dalla bilancia al bancale adiacente (Figura 1.3); essendo la bilancia posta alla medesima altezza del tavolo, l'operazione non richiede di sollevare il barattolo, ma è sufficiente trascinarlo verso destra di circa 40 cm. Contemporaneamente l'operatore-1 deve predisporre i barattoli vuoti per facilitarne il prelievo da parte dell'operatore-2; inoltre deve prelevare i barattoli pieni, accertarsi che non vi siano tracce di prodotto sul bordo esterno, eventualmente ripulire tali tracce con un panno, inserire i barattoli nella macchina di chiusura, etichettare i prodotti sigillati in uscita dalla macchina e disporli su un pallet. Giunti a fine lotto, contemporaneamente al riempimento degli ultimi due barattoli, inizia l'operazione di taroccatura, che può essere svolta dall'operatore-2 da solo o in collaborazione con l'operatore-1 (Figura 1.4). Tale operazione serve a raccogliere, per poterlo poi confezionare, il prodotto residuo sui bordi della vasca e del mestolo mediante l'utilizzo del tarocco. Grazie alla taroccatura è possibile ridurre lo scarto di lavorazione a una quota prossima allo 0%. terminate le operazioni di confezionamento, i due operatori trasportano la vasca vuota e gli utensili appena utilizzati nell'area di lavaggio. Si riportano di seguito in forma schematica le operazioni svolte dai due operatori.

Operatore-1:

- Predisposizione dei barattoli da impilati in colonna a disposizione piramidale per favorire il prelievo dei medesimi dell'operatore-2
- Prelievo dei barattoli pieni e asservimento della macchina di chiusura
- Etichettatura dei barattoli in uscita dalla macchina di chiusura
- Pallettizzazione del prodotto finito
- Sostituzione pieno-vuoto in favore dell'operatore-2
- Taroccatura della vasca in collaborazione con l'operatore-2
- Applicazione patina alcol alimentare

Operatore-2:

- Travaso manuale del prodotto dalla vasca ai barattoli
- Sostituzione barattolo pieno-vuoto
- Taroccatura in collaborazione con l'operatore-2
- Rimozione vasca vuota a fine operazione di travaso



Figura 1.2 Riempimento barattolo



Figura 1.3 Sostituzione barattolo



Figura 1.4 Tarocatura

1.7. Analisi dei tempi e criticità

Procedendo con l'analisi della produzione del mese di luglio 2019, sono state calcolate le portate orarie di prodotto confezionato nella postazione in esame (Tabella 1.4). Per svolgere tale calcolo è stata presa come riferimento una giornata tipica di 7 ore lavorative. Poiché l'azienda lavora su un singolo turno di 8 ore, è presente una sola postazione di confezionamento e il tempo restante del turno viene dedicato ad operazioni di pulizia della postazione di lavoro.

Tabella 1.4 Portata oraria luglio 2019

Data	Portata [kg/h]	Data	Portata [kg/h]
01/07/2019	246	17/07/2019	273
02/07/2019	383	18/07/2019	227
03/07/2019	254	19/07/2019	239
04/07/2019	361	22/07/2019	234
05/07/2019	204	23/07/2019	344
06/07/2019	129	24/07/2019	424
08/07/2019	359	25/07/2019	314
09/07/2019	245	26/07/2019	343
10/07/2019	233	27/07/2019	171
11/07/2019	339	29/07/2019	306
12/07/2019	131	30/07/2019	279
15/07/2019	461	31/07/2019	276
16/07/2019	212		

Tabella 1.5 Resoconto portate orarie

	Portata [kg/h]
Media	279
Massima	461
Minima	129

Come riportato in Tabella 1.4 e 1.5 si calcola una portata media oraria pari a 279 kg/h con una portata massima (461 kg) pari a oltre tre volte quella minima (129 kg). Va notato che i livelli di massima produttività sono registrati in giorni particolari in cui, essendo programmati grossi lotti di paste anidre, il confezionamento viene effettuato utilizzando una procedura diversa da quella sopradescritta, che utilizza una pompa volumetrica avente una portata che oscilla tra i 1440 kg/h e i 2400 kg/h in funzione della viscosità del prodotto (la portata diminuisce al crescere della viscosità). Come descritto

successivamente questa procedura semiautomatica presenta vari inconvenienti che scoraggiano il suo uso routinario. Viceversa, utilizzando la procedura standard l'operazione svolta dall'operatore-2 è estremamente ripetitiva e stancante per cui, sebbene l'operatore sia in grado di raggiungere portate di oltre 400 kg/h, questo ritmo risulta essere difficilmente sostenibile per più ore consecutive e la portata media giornaliera si assesta intorno ai 279 kg/h tenendo conto dei necessari riposi. In accordo con la norma ISO 11228, se venissero sostenuti per l'intero turno i ritmi massimi teorici e per più giorni consecutivi i avrebbero rischi medici ai tendini e alle articolazioni del braccio sia nel breve che nel lungo periodo.

Tale criticità, destinata a peggiorare al crescere dei volumi produttivi, ha spinto l'azienda a cercare un nuovo sistema produttivo, che non comporti alcun rischio per i suoi operatori e che garantisca portate almeno pari a quelle attuali.

1.8. Automazione tramite pompa volumetrica

1.8.1. Analisi del problema

L'occasionale utilizzo di una pompa a lobi per l'operazione di confezionamento ha portato a valutare in primo luogo la possibilità di portare alla routine l'utilizzo della pompa migliorandone l'uso e le prestazioni. Attualmente la pompa viene utilizzata solo per confezionare le paste anidre, per un volume pari al 39% della produzione mensile e al 15% dei lotti totali prodotti (Tabella 1.6). I problemi principali presentati dalla pompa, a causa dei quali il suo utilizzo nell'azienda è solo occasionale, sono legati agli elevati tempi dei setup e ai residui di prodotto che rimangono nella pompa a fine utilizzo. Un terzo problema è legato al fatto che la pompa volumetrica a disposizione non è idonea alla lavorazione dei "variegati", una particolare categoria di paste che, contenendo pezzi di biscotti frantumati o frutti di piccole dimensioni, deve essere trattata con particolare delicatezza per evitare il danneggiamento del materiale pregiato in pezzi.

Tabella 1.6 Confezionamento a macchina e a mano nel luglio 2019

	macchina	Mano
n° lotti	33	181
lotti %	15%	85%
Kg	18910	29990
kg %	39%	61%

A causa delle caratteristiche delle paste cotte e delle paste anidre è necessario prevedere due set distinti di pompe in quanto i due prodotti richiedono una diversa gestione delle pompe in fase di setup e pulizia. Le paste anidre richiedono infatti un lavaggio della pompa con olio alimentare, mentre le paste

cotte richiedono un lavaggio con acqua seguito da asciugatura completa. Rimarrebbero interscambiabili le raccorderie che devono essere lavate con acqua e poi asciugate perfettamente.

Paste Anidre. Nel caso delle paste anidre è tollerabile un grado di contaminazione tra due prodotti diversi inferiore al 1%. Poiché al termine dell'operazione di travaso all'interno della pompa rimangono circa 2 kg di prodotto, è necessario svolgere un ciclo di pulizia, che consiste nel far scorrere ripetutamente 10 litri d'olio al suo interno, prima di utilizzare la pompa per un nuovo prodotto in modo da evitare il rischio di cross-contaminazioni. Questo lavaggio può essere omesso nel caso di due lavorazioni successive con prodotti affini (la compatibilità tra due prodotti è determinata principalmente dall'aroma e dal colore). In questo caso è possibile mescolare lo sfrido con il lotto successivo diluendolo al suo interno, ma solo se il prodotto "contaminante" (lo sfrido) corrisponde a una percentuale inferiore all'1% del prodotto principale. Di fatto, nel caso di lotti inferiori ai 400 kg sarebbe comunque necessario effettuare il lavaggio. È stato calcolato che il processo di lavaggio e setup della pompa richieda circa 60 minuti.

Paste cotte. A differenza che per le paste anidre, la contaminazione tra due paste cotte differenti deve essere sempre evitata in quanto presentano aromaticità molto forti. Pertanto, in questo caso il lavaggio della pompa è sempre necessario tra un processo e l'altro. È stato stimato che il procedimento di pulizia e asciugatura della pompa richieda un tempo pari a 130 min.

1.8.2. Valutazione applicativa

Dopo un confronto con l'azienda è stato stabilito che ciascun set di pompe deve essere in grado di sostenere l'intera produzione giornaliera media, in quanto è stato evidenziato che periodicamente la produzione giornaliera è costituita esclusivamente da paste cotte o da paste anidre. In vista di una crescita produttiva annua stimata del 15%, è stata fissata una portata media di 300 kg/h che deve essere garantita da entrambi i set di pompe.

Tabella 1.7 Dati pompe

	PASTE ANIDRE	PASTE COTTE
Portata	7 1680	8 <i>barattoli/min</i> 1920 <i>kg/h</i>
Tempo setup	10	10 <i>min</i>
Tempo lavaggio macchina	50	150 <i>min</i>
N° pompe	1	1

I dati delle pompe sono riportati in Tabella 1.7. È stata considerata una portata media differente tra le due tipologie di prodotto in quanto le paste anidre presentano mediamente una viscosità maggiore. Sono quindi stati calcolati il tempo di completamento e la portata oraria media in funzione del variare

della dimensione dei lotti. I dati ottenuti sono stati confrontati con quelli limite corrispondenti a una portata media di 300 kg/h. I risultati sono stati riportati nei grafici in Figura 1.5 e 1.6.

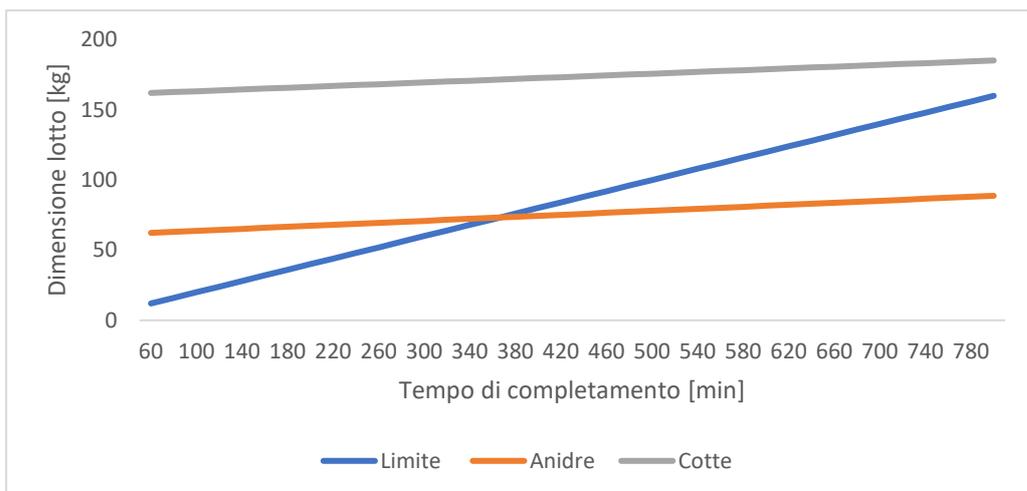


Figura 1.5 Tempi completamento lotti

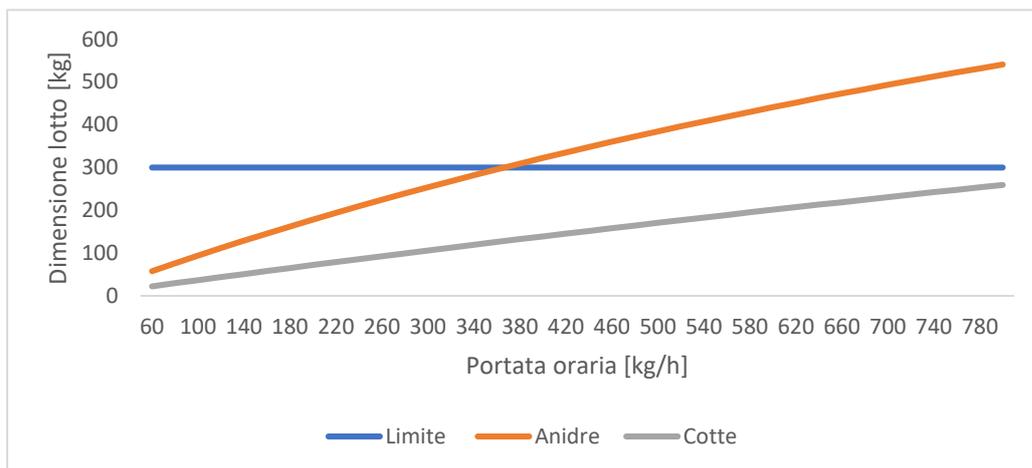


Figura 1.6 Portate orarie

Appare evidente che in queste condizioni il sistema produttivo basato su pompe non risulta mai conveniente nel caso delle paste cotte, mentre per quanto riguarda le paste anidre è accettabile esclusivamente per lotti di dimensione superiore ai 380 kg. Ciò è dovuto agli elevati tempi di pulizia legati all'utilizzo delle pompe, che colpiscono in particolar modo la lavorazione delle paste cotte. Sarebbe quindi necessario inserire un maggior numero di pompe per ridurre l'impatto del lavaggio sul tempo di completamento di un lotto. Dopo alcuni tentativi è stato determinato che, considerando una giornata produttiva di 7 h durante la quale vengono prodotti mediamente 9 lotti da 240 kg (paragrafo 1.4), per garantire i volumi produttivi medi richiesti, il set di pompe dedicato alle paste anidre deve essere composto da due elementi, quello dedicato alle paste cotte da cinque.

Tabella 1.8 Definizione set di pompe

n° pompe	2	5
tempo medio	38,8	39,7 min
tempo giornaliero necessario	348,75	356,90625 min

Si sono quindi ricalcolati i tempi di produzione e le portate orarie medie al variare delle dimensioni dei lotti. I dati ottenuti sono quindi stati applicati alla produzione di luglio. Considerando la tipica giornata produttiva di 7h durante la quale vengono prodotti mediamente 9 lotti, è stato verificato che entrambi i set di pompe garantirebbero lo svolgimento del lavoro richiesto. I risultati sono raccolti nella Tabella 1.9.

Tabella 1.9 Risultati

	Paste ANIDRE		Paste COTTE	
	t pompa [min]	Q pompa [kg/h]	t pompa [min]	Q pompa [kg/h]
Tot	8177		8386	
Media_lotto	38	323	39	318
Giornaliero	344	2906	353	2858

Nella selezione delle pompe da utilizzare, occorre tenere presente il problema, già descritto, dei “variegati” che richiede una particolare attenzione. Il modello di pompa a lobi attualmente utilizzato non risulta idoneo a movimentare questa tipologia di prodotti, per i quali occorre introdurre due pompe volumetriche a velocità variabile con rotore sinusoidale (una per le paste anidre e una per le paste cotte) in grado di travasare il prodotto con la necessaria delicatezza (Figura 1.7).



Figura 1.7 Pompa a rotore sinusoidale

Sulla base di queste considerazioni sono stati selezionati i due modelli di pompa da mettere in linea. Sono stati scelti due modelli del CSFinoxGroup: la pompa a lobi Jabsco e la pompa a rotore sinusoidale SN 80 della quale si riporta in Figura 1.8 la curva caratteristica. Entrambe le pompe garantiscono una portata di 2000 L/h in condizioni di lavoro a basso numero di giri, condizione necessaria a evitare il danneggiamento del prodotto. Per le specifiche di prodotto si è fatto riferimento a quelle della pompa a lobi attualmente utilizzata, che opera a una pressione di 3 bar con una velocità di rotazione pari a 200 rpm.

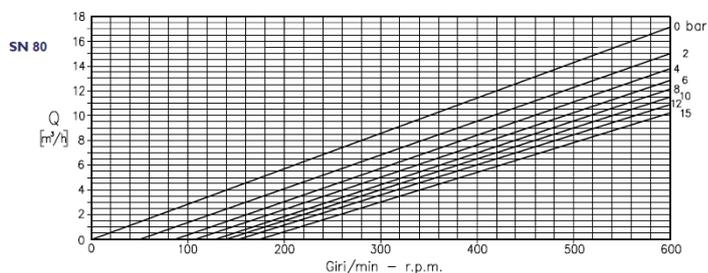


Figura 1.8 Curva caratteristica SN 80

1.8.3.Valutazione economica

Una volta stabilite le pompe da acquistare si è potuto procedere con la valutazione economica dell'investimento. I costi fissi per l'implementazione del processo sono quelli relativi all'ingegnerizzazione, all'acquisto di quattro pompe a lobi e due pompe a rotore sinusoidale, all'acquisto della raccorderia e alla costruzione di una stanza di asciugatura all'interno dello stabilimento. In questa fase sono stati richiesti dei preventivi per le pompe e per la raccorderia, gli altri elementi sono stati invece stimati.

I costi variabili sono costituiti dai due operatori che lavorano nella postazione e dagli scarti di produzione. Occorre soffermarsi su questo secondo elemento in quanto, in presenza di confezionamento completamente automatizzato, si osserva un considerevole incremento delle perdite. Tra il prodotto rimanente nella pompa e quello residuo all'interno dei raccordi (che andrebbero sostituiti ogni volta), si stima uno scarto di circa 5 kg per ciascun lotto prodotto. Lo scarto stimato su un lotto di 1000 kg risulta dunque pari al 0,5%, su un lotto di 200 kg pari al 2,5%, su un lotto di 60 kg pari all'8%, rispetto a uno scarto prossimo allo zero nel caso di confezionamento manuale. Si considerino i dati relativi alla produzione del 2019 riportati in Tabella 1.10

Tabella 1.10 Produzione 2019

Scarico anidre	213461,5 kg
Scarico cotte	92557,4 kg
Scarico totale	306019,0 kg
Costo medio anidre	8,6 €/kg
Costo medio cotte	4,3 €/kg
Costo medio	7,3 €/kg
Stima n° lotti	1280

Sulla base delle informazioni raccolte sul mese di luglio e riportate in Tabella 6, nel 2019 sono stati confezionati a macchina circa il 15% dei lotti totali. Considerando una perdita di 5 kg per ogni lotto confezionato a macchina è possibile calcolare che nel 2019 si sono realizzati scarti per circa 10.000 €, mentre nel 2020, in caso di implementazione del processo, si realizzerebbe uno scarto di circa 70.000 €, con un incremento di circa 60.000 € (Tabella 1.11)

Tabella 1.11 Scarti 2019-2020

	Costo	kg	
Scarti 2019	7,3 €	1410,932	10.365 €
Scarti 2020	7,3 €	9406,214	69.100 €

Nel caso in cui l'azienda, per eliminare i problemi ergonomici legati all'attuale sistema produttivo e adeguarsi alla normativa vigente (ISO 11228), dovesse decidere di affrontare questo investimento, dovrebbe far fronte a un evidente aumento dei costi di produzione. Per ottenere condizioni più vantaggiose sarebbe necessario un aumento delle dimensioni medie dei lotti prodotti con una conseguente variazione nella strategia aziendale attualmente adottata.

Tabella 1.11 Costi fissi e costi variabili

Investimento iniziale	Prezzo	Quantità	Costo
Pompe rotore sinusoidale	14.400 €	2	28.800 €
Pompe tradizionali	6.000 €	4	24.000 €
Raccorderie	1.000 €	1	1.000 €
Stanza asciugatura	15.000 €	1	15.000 €
Ingegnerizzazione	15.000 €	1	15.000 €
			83.800 €
Costi Variabili annuali			
Scarti previsti	7,3 €	9406,214	69.100 €
Personale	30.000 €	2	60.000 €

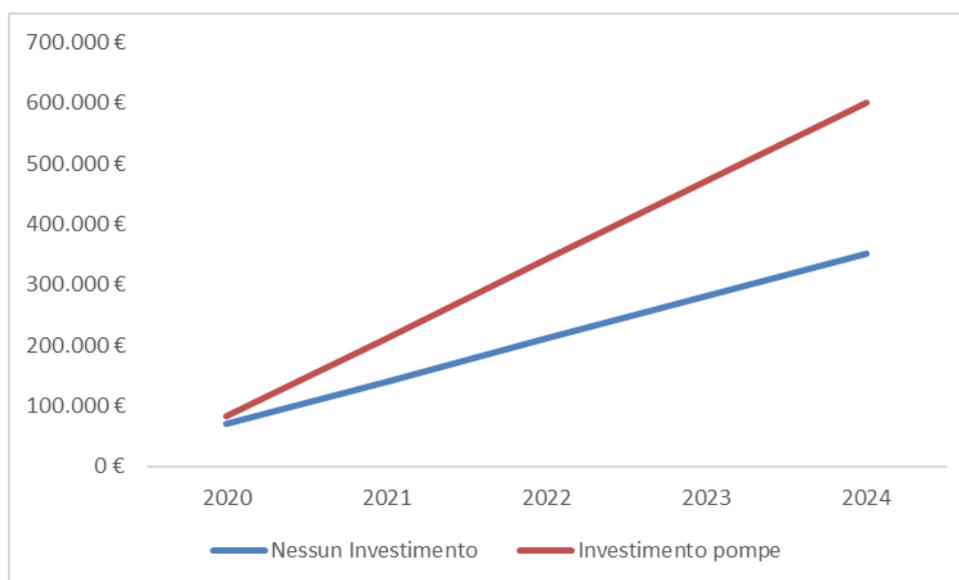


Figura 1.9 Valutazione economica dell'investimento

2. La robotica collaborativa

Dalla precedente analisi è emersa la necessità di sviluppare un sistema flessibile in grado di rispondere adeguatamente alla grande varietà dei prodotti e alle fluttuazioni della produzione giornaliera in termini di numero e dimensione dei lotti. Si ritiene che introducendo nella postazione di lavoro un robot collaborativo capace di sostituirsi all'uomo nello svolgimento delle operazioni sfiancanti e altamente ripetitive, possa essere ottenuta la flessibilità necessaria, adeguandosi alla valutazione dei rischi legati alla movimentazione manuale dei carichi indicata nella norma ISO 11228 obbligatoria per legge (D. Lgs 81/08). In questo capitolo si tratterà una breve panoramica sulla robotica collaborativa e sulle norme di riferimento relative alla sicurezza, per poi passare alla valutazione dello stato dell'arte dei robot presenti sul mercato, finalizzata alla scelta di un braccio robotico idoneo ad operare nella postazione di lavoro in esame.

2.1. La collaborazione uomo-robot

All'interno del contesto di Industria 4.0 molte aziende stanno affrontando diverse sfide per assicurarsi una buona redditività sul mercato globale. È stato affermato che i CPS (Cyber-physical systems) avranno un grande impatto sull'era dell'industria 4.0. I CPS possono essere definiti come l'integrazione tra i sistemi di calcolo e i processi fisici. I computer e le reti incorporate controllano i processi fisici, solitamente attraverso circuiti di feedback dove i processi fisici influenzano i calcoli e viceversa [4]. I sistemi intelligenti di assistenza per i lavoratori possono essere considerati dei CPS nel caso in cui interagiscano dinamicamente con gli operatori e con l'ambiente digitale della postazione di lavoro. I sistemi di assistenza possono essere suddivisi in due categorie: fisica o psicologica [4]. Un esempio di assistenza fisica è rappresentato dai *robot collaborativi*, che consentono la presenza di uno spazio condiviso tra uomo e robot all'interno del quale è permessa l'interazione fisica della macchina con l'uomo [5].

Il primo robot collaborativo venne ideato nel 1996 da James E. Colgate e Michael A. Peshkin. Nel brevetto da loro depositato il 28 ottobre del 1997 compare il termine "cobot", definito come "un apparato e un metodo per l'interazione fisica diretta tra una persona e un generico manipolatore controllato da un computer" [6]. Il termine "cobot" venne poi elencato tra i nuovi termini dal Wall Street Journal, con il significato di "robot collaborativo progettato per aiutare i lavoratori nelle loro attività invece che sostituirli" [7].

Oggi, a vent'anni dalla sua invenzione, il concetto di "robotica collaborativa" ha comunemente assunto il significato di condivisione del lavoro. La collaboratività si manifesta tramite un accesso dell'uomo al sistema robotizzato e allo spazio di lavoro per compiere azioni funzionalmente legate [8]. La collaborazione tra uomo e robot si pone l'obiettivo di combinare le abilità e la flessibilità dell'uomo con i benefici legati ai sistemi robotizzati. Ciò consente un aumento della produttività e della qualità dei prodotti, riducendo al tempo stesso i rischi per gli operatori legati all'ergonomia [9].

Sono possibili diversi livelli di collaborazione tra uomo e robot. Convenzionalmente nella fabbrica il robot si trova all'interno di aree protette non accessibili all'uomo; l'accesso allo spazio di lavoro è consentito solo a robot fermo per svolgere operazioni di manutenzione o programmazione. Questo è il primo livello di collaborazione ed è caratterizzato da una rigida separazione tra gli spazi di lavoro. Un secondo livello può essere chiamato di *coesistenza*: in questo caso non vi è condivisione dello spazio di lavoro, ma manca una barriera fisica. A tale livello l'uomo può accedere all'area di lavoro del robot, ma viene rilevato da un sistema di sicurezza che induce il robot a regolare potenza e velocità di movimento. Un terzo livello è quello delle *operazioni sincronizzate*, in cui l'uomo e il robot condividono lo stesso spazio di lavoro, ma in tempi differenti; si ha quindi una condizione di separazione temporale. Un quarto livello è quello della *cooperazione*, in cui si riduce la separazione spaziale e temporale e si consente a uomo e robot di occupare contemporaneamente la stessa area di lavoro, rimanendo al tempo stesso separati senza che ci sia alcuna attività congiunta. Infine, nel livello più alto di collaborazione, uomo e robot lavorano su un compito comune senza alcuna separazione temporale o spaziale dell'area di lavoro, ma anzi può essere previsto un contatto volontario tra uomo e macchina [4].

2.2. La sicurezza nelle applicazioni collaborative

La condivisione dello spazio di lavoro comporta una continua esposizione dell'uomo a un macchinario in movimento, per cui rende necessaria una attenta valutazione del tema della sicurezza. Essendo le azioni collaborative costituite da sistemi automatici che operano a stretto contatto con l'uomo, rientrano nell'ambito della sicurezza del macchinario regolato dalla Direttiva Macchine MD 2006/42/EC [8]. Tale direttiva ha lo scopo di “determinare i requisiti essenziali di sicurezza e di tutela della salute da rispettare nella progettazione e fabbricazione per migliorare il livello di sicurezza delle macchine immesse sul mercato” [10] ed è entrata in vigore nella versione trasferita in legislazione nazionale con il D.Lgs. n 17/2010 [8]. Dalla Direttiva Macchine emergono i Requisiti Essenziali di Sicurezza e Salute (RESS), una lista contenente gli elementi oggettivi di protezione delle persone che devono essere garantiti per consentire l'installazione e la vendita del macchinario. La conformità con i RESS può essere dimostrata puntualmente mediante una descrizione analitica del processo di progettazione e messa in funzione del macchinario, oppure utilizzando le norme tecniche armonizzate, all'interno delle quali sono contenute le linee guida generali per la conformità. Le principali norme di riferimento sono le seguenti:

- UNI EN ISO 12100:2010: È una norma di tipo A, contiene cioè principi e metodologie comuni a tutte le macchine, viene utilizzata in particolar modo per la metodologia di “Analisi e valutazione dei rischi”, rappresentata da un algoritmo logico e sistematico che permette di analizzare in modo adeguato le macchine in fase di progettazione. È esplicitamente richiamata all'interno della normativa macchine.

- UNI EN ISO 10218-1:2012: È una norma di tipo C, ovvero una norma di prodotto. Si riferisce esclusivamente ai robot intesi come singole macchine ed è rivolta ai produttori di robot industriali.
- UNI EN ISO 10218-2:2011: È una norma di tipo B, anche chiamata norma di gruppo. Riguarda gli aspetti di sicurezza relativi a determinate funzioni, è principalmente rivolta a coloro che si occupano della progettazione di un processo all'interno del quale viene impiegato un robot. In particolar modo si fa riferimento a questa norma per il calcolo delle distanze di sicurezza
- ISO/TS 15066:2016: È una specifica tecnica che si riferisce esclusivamente alle modalità collaborative e ha il compito di integrare la norma ISO 10218. Ha lo scopo di specificare i requisiti di sicurezza per i sistemi robotici collaborativi e per l'ambiente di lavoro [11]. Fornisce una guida per progettare delle operazioni in cui delle persone condividono lo spazio di lavoro con un robot, garantendo l'integrità delle condizioni di sicurezza, in particolar modo nei processi che richiedono il controllo della forza e della velocità. Questo documento chiarisce inoltre molti degli aspetti tecnici legati all'interazione fisica tra uomo e robot. Pur essendo una specifica tecnica e non una norma armonizzata e non conferendo dunque la Presunzione di Conformità necessaria per ottenere le certificazioni CE, rappresenta di fatto il principale riferimento per le modalità collaborative. È esplicitamente richiamata all'interno della norma di riferimento EN/ISO 10218, ciò conferisce di fatto alle indicazioni e ai requisiti elencati al suo interno una rilevanza primaria per la progettazione dei robot e delle applicazioni collaborative [8]

2.3. Stato dell'arte dei robot collaborativi

Alcuni studi mostrano che il mercato dei robot collaborativi è destinato ad espandersi notevolmente nei prossimi anni. Una ricerca condotta da Interact Analysis pubblicata nel dicembre del 2018 rivela che il mercato dei robot collaborativi, sebbene sia ancora di dimensioni ridotte (meno di \$400 milioni nel 2017), sia cresciuto di oltre il 60% nel corso di un solo anno superando nel 2018 i 600 milioni di dollari. Si ritiene inoltre che questa crescita sia destinata ad accelerare notevolmente nei prossimi anni grazie a una disponibilità di cobot sempre maggiore da parte dei principali produttori [12]. Si ritiene che tra il 2025 e il 2027 circa il 30% di tutti i robot venduti saranno collaborativi [4]. Dall'analisi di mercato emerge inoltre che attualmente quasi il 50% dei cobot venduti sono prodotti da Universal Robots, il restante 50% è suddiviso più o meno equamente tra FANUC, TechMan, Rethink Robotics ABB ed altri produttori minori.

The Future of Collaborative Robots

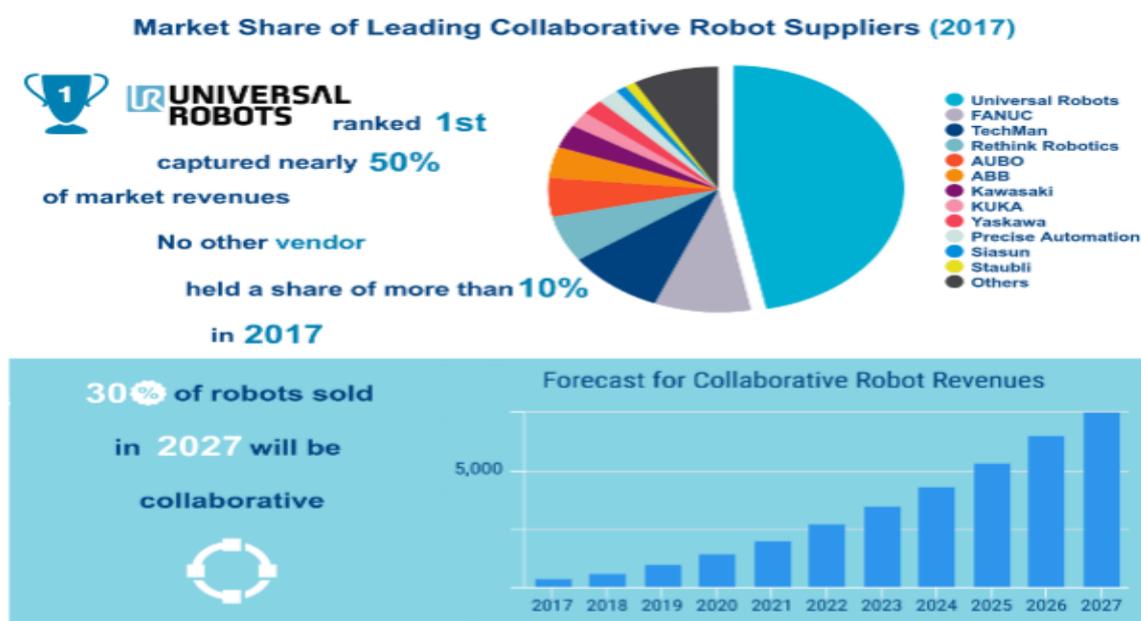


Figura 2.1 Interact analysis

2.3.1.ABB, IRB 14000 YuMi

ABB è una delle case produttrici leader del settore della robotica collaborativa [13]. Il 13 aprile 2015 nella Fiera delle Tecnologie Industriali di Hannover ha presentato YuMi, il primo robot collaborativo a due braccia. Con un carico massimo di 0,5 kg è stato appositamente progettato per rispondere alle esigenze di flessibilità e agilità di produzione dell'industria elettronica. Trova però ampio utilizzo anche nell'ambito dell'assemblaggio di componenti di piccole dimensioni grazie alla sua dotazione di due braccia, di mani flessibili, di una telecamera per il riconoscimento delle parti e al sistema universale di alimentazione.

L'intero scheletro del telaio e delle braccia è costruito in magnesio, il che gli conferisce un elevato livello di robustezza, mantenendo un peso ridotto, pari a 38 kg. Le dimensioni contenute del telaio e l'estrema leggerezza consentono una facile movimentazione del robot e ne aumentano il livello di sicurezza. Il rivestimento in plastica morbida che ricopre completamente lo scheletro, incrementa ulteriormente il livello di sicurezza dell'operatore, assorbendo l'energia legata all'impatto in caso di urto accidentale e permette a YuMi l'esecuzione di movimenti a velocità maggiore con un conseguente aumento della produttività. Il montaggio del robot deve necessariamente avvenire sul tavolo di lavoro. Ogni braccio ha un raggio d'azione di 500 mm,



Figura 2.2 ABB IRB 14000 YuMi

ruotando su sette assi differenti garantisce un'elevata efficienza spaziale, andando a riprodurre con precisione i movimenti umani con una ripetibilità di $\pm 0,02\text{mm}$. Il controllo integrato di cui è dotato garantisce un ingombro minore; la conseguente assenza di cavi sul pavimento assicura una maggiore flessibilità in termini di layout della cella; i vari strumenti e componenti potranno così essere disposti intorno al cobot a una distanza inferiore senza alcun problema legato alle interferenze. Il design chiuso, senza la presenza di alcun filo scoperto, riduce il rischio di danni ai cavi e al tubo dell'aria, rendendo meno frequenti le azioni di manutenzione, e semplifica le azioni di pulizia. Le telecamere incorporate nelle mani consentono di utilizzare la mano per una raccolta guidata di pezzi tramite riconoscimento.

In caso di urto accidentale con l'operatore, il robot si arresta nel giro di pochi millisecondi e per rimetterlo in funzione è sufficiente premere un apposito pulsante o su un telecomando. Il grado di protezione del robot secondo la norma CEI EN 60529/1997 è IP30, per cui il robot è resistente a piccoli corpi solidi con diametro fino a 2,5 mm, ma non ha alcuna resistenza all'acqua. Si riportano di seguito i dati relativi al range di movimento sui sette assi dei bracci articolati accompagnati da una rappresentazione dello spazio di lavoro.

Movimento		
Movimento assi	Area di lavoro	Velocità massima
Asse 1 rotazione	da $-168,5^\circ$ a $168,5^\circ$	$180^\circ/\text{s}$
Asse 2 braccio	da $-143,5^\circ$ a $43,5^\circ$	$180^\circ/\text{s}$
Asse 3 braccio	da $-123,5^\circ$ a $80,0^\circ$	$180^\circ/\text{s}$
Asse 4 polso	da $-290,0^\circ$ a $290,0^\circ$	$400^\circ/\text{s}$
Asse 5 piega	da $-88,0^\circ$ a $138,0^\circ$	$400^\circ/\text{s}$
Asse 6 giro	da $-229,0^\circ$ a $229,0^\circ$	$400^\circ/\text{s}$
Asse 7 rotazione	da $-168,5^\circ$ a $168,5^\circ$	$180^\circ/\text{s}$

L'ordine fisico degli assi è 1,2,7,3,4,5,6

Figura 2.3 Scheda tecnica YuMi. Rotazione assi

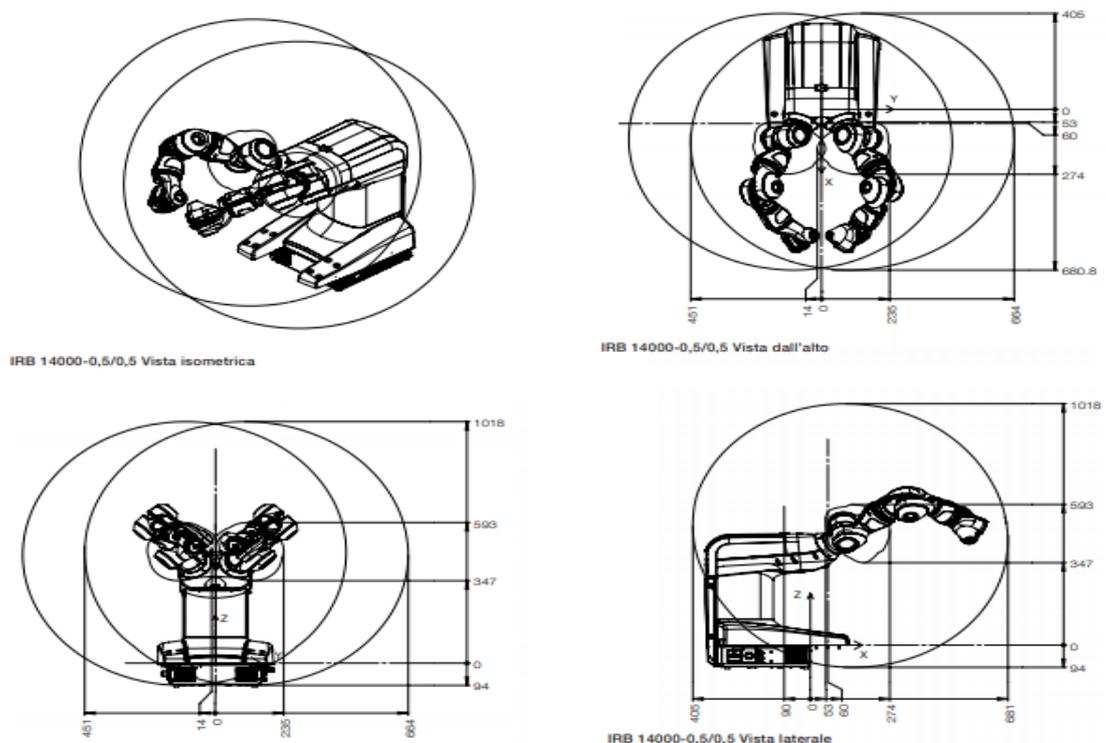


Figura 2.4 Scheda tecnica YuMi. Spazio di lavoro

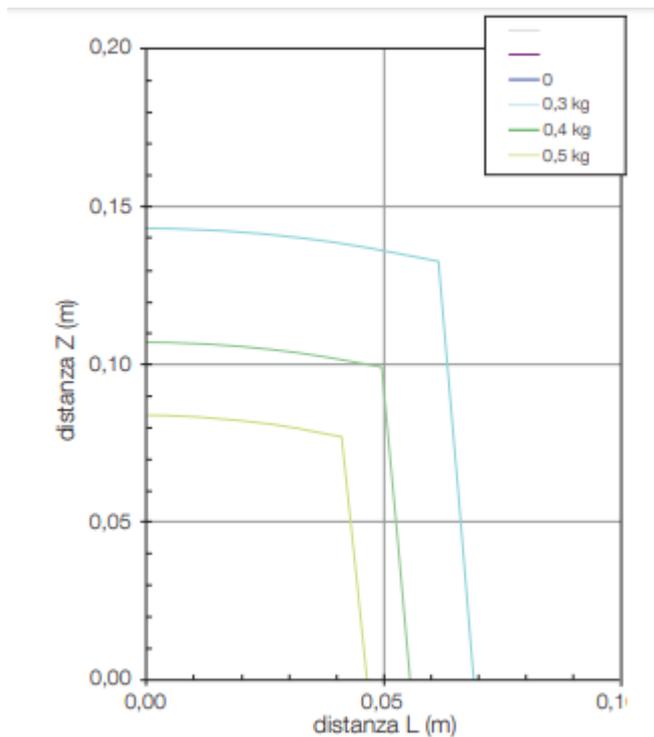


Figura 2.5 Scheda tecnica YuMi. Payload

Si noti che la capacità di carico massima pari a 0,5kg, sebbene sia piuttosto limitata, non è valida per l'intera area d'azione, ma esclusivamente a una distanza ridotta dal telaio. Si riporta di seguito un grafico che rappresenta le curve di carico massimo in funzione del raggio d'azione. L'alimentazione deve essere a 24 V per quanto riguarda la corrente elettrica e a 4 bar per l'aria compressa.

2.3.2. Universal Robots

L'Universal Robots è l'azienda leader del settore nel campo della robotica collaborativa. Fondata ufficialmente nel 2005, entra sul mercato nel 2009 con il primo modello di UR5 [14]. Diversamente dagli altri produttori, Universal Robot produce e vende esclusivamente Robot Collaborativi. L'azienda è attualmente presente sul mercato con robot di tre taglie differenti (UR3, UR5 e UR10) ai quali si aggiungono i cobot delle medesime dimensioni di nuova generazione denominati UR3e, UR5e, UR10e. Pochi mesi fa è stato lanciato sul mercato un settimo modello denominato UR16e. Questi robot della "e-series" sono stati presentati nel 2018 e, rispetto ai robot della generazione precedente, sono dotati di alcune funzionalità aggiuntive che saranno elencate in seguito.

I robot UR sono composti da un braccio dotato di 6 assi e da una scatola di controllo. La programmazione estremamente semplice può essere effettuata tramite la movimentazione diretta del braccio robotico o attraverso il touchpad di cui è fornito. Il design estremamente compatto è privo di spigoli e fili scoperti, aumentando il livello di sicurezza dell'operatore. I robot UR3, UR5, UR10 sono

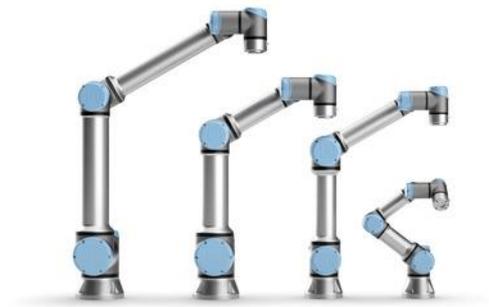


Figura 2.6 Universal Robots e-Series

interamente costruiti in plastica ed alluminio, mentre quelli appartenenti alla e-series presentano alcune componenti in acciaio. Il peso estremamente ridotto ne consente il facile spostamento all'interno dello stabilimento. In caso di collisione con l'uomo il robot imprime una forza inferiore ai 150N, in accordo con le normative ISO relative alle limitazioni di forza e momento. Tutti i robot UR sono inoltre dotati della certificazione del TÜV SÜD relativa alla qualità e affidabilità in ambienti di lavoro specializzati. Grazie a tale certificazione che garantisce elevati standard igienici, questi cobot possono essere impiegati nell'industria alimentare, medica e farmaceutica. I robot UR trovano inoltre spazio in numerosi settori industriali nello svolgimento di compiti come avvitatura, controllo qualità, incollaggio, dosatura, saldatura, confezionamento e pallettizzazione, asservimento macchine, assemblaggio, prelievo e posizionamento. L'alimentazione a 100-240 V non richiede specifici collegamenti elettrici e ne aumenta notevolmente la facilità di impiego.

I robot della e-series, rispetto ai precedenti, sono dotati di una maggiore precisione e sensibilità grazie a un sensore di forza posto nel polso del robot. È stato inoltre riprogettato il pannello di controllo per ottimizzare l'esperienza di programmazione. Sono infine presenti 17 nuove funzioni di sicurezza rispetto alle 15 presenti nella serie precedente. A fronte di un modesto aumento nel consumo di energia elettrica, si registra un netto miglioramento della ripetibilità e una evidente riduzione della rumorosità. Per quanto riguarda il modello UR3e, si può infine notare il passaggio del livello di protezione da IP64 a IP54, il che indica che, mentre il modello precedente era completamente protetto dall'ingresso di polveri, il nuovo è leggermente vulnerabile. Tutti i robot richiedono una temperatura massima dell'ambiente di lavoro pari a 50°C.

UR3 – UR3e. Sono i robot più piccoli della gamma, con un carico massimo di 3 kg e uno sbraccio di 500 mm; sono particolarmente adatti a svolgere compiti leggeri di assemblaggio. Grazie alla rotazione infinita dell'articolazione finale, sono particolarmente idonei a svolgere compiti di avvitatura. La ripetibilità del robot di $\pm 0,1$ mm, che nel nuovo modello scende a $\pm 0,03$ mm, lo rende perfetto per lavori che richiedono un'assoluta precisione. Il peso del braccio articolato di circa 11 kg rende la movimentazione e il montaggio del robot particolarmente semplici. Questi cobot possono essere installati con qualunque tipo di orientazione della base al fine di ottimizzare gli spazi occupati e i movimenti da svolgere. La capacità di rotazione dei primi cinque assi di $\pm 360^\circ$ fa sì che lo spazio di lavoro raggiungibile mediante il tool sia sferico. Il confronto dei due modelli dimostra che UR3e mostra

un leggero aumento nel consumo di corrente per un lavoro tipico, che passa da 125 W a 150 W. Viceversa si riscontra tra i due modelli un dimezzamento del rumore percepito che scende da 70 dB a 60 dB.

UR5 – UR5e. Leggermente più grande rispetto all'UR3 ha un payload di 5 kg e uno sbraccio pari a 850 mm. È stato progettato per automatizzare operazioni di media portata come manipolazione e collaudo. Come per il modello più piccolo, si registra un miglioramento della ripetibilità nel robot di nuova generazione, con passaggio da $\pm 0,1$ mm a $\pm 0,03$ mm. Si notano inoltre un aumento da 150 W a 250 W della corrente consumata per un lavoro tipico e una riduzione della rumorosità da 72 dB a 65 dB. Rispetto all'UR3, non è dotato di rotazione infinita sull'ultimo asse del polso e il range di rotazione è pari a $\pm 360^\circ$ su tutti i sei assi, garantendo uno spazio di lavoro sferico. Si evidenzia un leggero aumento della massa sebbene questa rimanga comunque ridotta, da 18,4 kg per l'UR5 a 20,6 kg per l'UR5e. Ciò rende il robot ricollocabile con estrema facilità. Come il modello più piccolo può essere installato con qualunque orientazione della base.

UR10 – UR10e. Fino a pochi mesi fa erano i robot più grandi tra quelli prodotti da Universal robot; con un carico massimo di 10 kg sono dotati di uno sbraccio molto ampio, pari a 1300 mm. Utilizzato principalmente per operazioni di manipolazione, assemblaggio e pallettizzazione, garantisce una ripetibilità nei movimenti di $\pm 0,1$ mm che per il modello della e-series scendono a $\pm 0,05$ mm. La rumorosità è pari a quella dei rispettivi modelli UR5 e UR5e, così come il range di rotazione dei sei assi. Nonostante l'incremento di massa rispetto al modello più piccolo, 28,9 kg per l'UR10 e 33,5 kg per l'UR10e, mantengono un rapporto peso/forza estremamente ridotto. Come tutti gli altri robot UR, possono essere facilmente movimentati e possono essere installati con qualunque orientamento all'interno di una ea sferica. I consumi di corrente sono leggermente più alti, ma estremamente competitivi se paragonati a quelli degli altri robot presenti sul mercato. Per l'UR10 si prevede un consumo medio di 250 W per un lavoro tipico, che per l'UR10e sale a circa 400 W.

UR16e. È il nuovo robot collaborativo di Universal Robot, con un carico massimo che sale a 16 kg e uno sbraccio che, rispetto al modello inferiore, si riduce a 900 mm; la ripetibilità è invece di $\pm 0,05$ mm. La massa, pari a 33,1 kg, non subisce grandi variazioni rispetto all'UR10e, per cui il rapporto peso potenza risulta molto ridotto. Come gli altri robot della e-series, è abilitato a lavorare in clean room; come per gli altri robot UR, è possibile il montaggio a qualsiasi inclinazione; inoltre a tutti gli assi è consentita una rotazione di $\pm 360^\circ$. L'alimentazione avviene a 12-24V, il consumo medio come per gli altri cobot è estremamente ridotto, pari a circa 350 W per un'applicazione con parametri moderati.

2.3.3.FANUC



Figura 2.7 FANUC Serie CR

FANUC è una delle principali aziende produttrici di robot nel mondo, nota per i suoi grandi robot tradizionali di colore giallo. È uscita sul mercato con una nuova serie di robot collaborativi che, a differenza della loro controparte non collaborativa, sono di colore verde.

Attualmente la serie di cobot

denominata CR è formata da cinque modelli differenti, aventi carico massimo compreso tra i 4kg e i 35kg [15]. Tutti i modelli sono dotati di sei assi di rotazione indipendenti. Possono essere utilizzati per l'erogazione di sigillanti, colle, vernici o altri fluidi, per il packaging e la pallettizzazione, l'asservimento macchina e l'ispezione dei componenti. L'elevata capacità di carico ne consente l'utilizzo per l'assemblaggio anche in campi come quello automobilistico. Il CR-35iA è infatti in grado di sollevare pesanti componenti di trasmissione in lavorazione e nelle linee di assemblaggio. In tutti i robot della serie il grado di protezione interna del polso è IP67, per cui sono completamente protetti dalle polveri e sono resistenti a immersioni temporanee in liquidi.

Tutti i robot della serie CR soddisfano le norme ISO 10218 e ISO 13849 della cat. 3 Pld; rispettano inoltre gli standard di sicurezza dell'ISO/TS 15066. Sono dotati di un sistema di arresto in seguito a collisione che assicura che il robot non imprima una forza superiore ai 150N. Dopo una collisione con una persona o un oggetto, il robot si ritrae leggermente e attende il riavvio manuale tramite un pulsante prima di rimettersi in moto. Tutti i cobot della serie sono progettati con una protezione anti-incastro, impedendo che si formino spazi vuoti inferiori ai 120mm per i bracci e 5mm per le dita, il che evita che l'operatore possa rimanere pizzicato. Per ridurre la pressione dovuta al contatto, il CR35-iA è dotato di una copertura morbida che ha un effetto di ammortizzazione e l'effetto secondario di eliminare punti potenzialmente pericolosi come gli spigoli vivi. Questi robot possono lavorare in un intervallo di temperature compreso tra 0-45°C.

CR-4iA. Con un carico massimo di 4 kg e un raggio d'azione di 550 mm, è il robot collaborativo più piccolo della serie. Il suo design estremamente compatto ne favorisce l'utilizzo in aree con spazi limitati. Con la sua massa pari a 48 kg può essere montato a pavimento, a muro oppure capovolto, al fine di migliorarne le prestazioni nelle leggere attività manuali per le quali è progettato. La ripetibilità di $\pm 0,01$ mm ne garantisce l'affidabilità in attività altamente ripetitive. L'alimentazione deve essere a 200-230 V monofase;

Motion range (°)					
J1	J2	J3	J4	J5	J6
340	150	354	380	200	720

Figura 2.8 Scheda tecnica Fanuc CR-4iA. Rotazione assi

mediamente lo svolgimento di un lavoro richiede 500 W di potenza. Non essendo la rotazione di tutti gli assi pari ad almeno 360 gradi, lo spazio di lavoro non è sferico. La rotazione dell'asse J6 di 720° favorisce le operazioni di avvitatura. Il grado IP del braccio è il medesimo del polso.

CR-7iA & CR-7iA/L. Sono due modelli abbastanza simili, entrambi con un carico massimo di 7 kg. Si differenziano principalmente per lo sbraccio pari a 717 mm nel modello 7iA e 911 mm nel 7iA/L. A fronte dell'aumento del raggio d'azione, si registra anche un leggero incremento della massa del braccio, da 53 kg a 55 kg. I vantaggi delle due versioni dipendono dalle esigenze dell'utilizzatore: il primo è preferibile in caso di problemi di spazio, il secondo è ideale in spazi di lavoro più ampi grazie alla sua portata maggiore. Per l'alimentazione necessitano di un sistema monofase a 200-230 V e assorbono mediamente una potenza pari a 500 W per compiere un lavoro. Entrambi i modelli possono essere montati sia a pavimento sia a muro sia capovolti. Come il modello CR-4iA garantiscono entrambi una ripetibilità di $\pm 0,01$ mm. Lo sbraccio elevato rende questi cobot particolarmente idonei a svolgere compiti di movimentazione dei materiali, come l'asservimento delle macchine e la pallettizzazione. Il polso e la parte restante del braccio hanno un grado IP67. Come per il modello di taglia inferiore lo

Motion range (°)					
J1	J2	J3	J4	J5	J6
340	166	373	380	240	720

Figura 2.9 Scheda tecnica Fanuc CR-7iA. Rotazione assi

Motion range (°)					
J1	J2	J3	J4	J5	J6
340	166	383	380	240	720

Figura 2.10 Scheda tecnica Fanuc CR-7iA/L. Rotazione assi

spazio di lavoro non è sferico.

CR-15iA. È un robot collaborativo avente un payload di 15 kg e uno sbraccio pari a 1441 mm. Tali specifiche, elevate se paragonate alla media degli altri robot collaborativi presenti sul mercato, lo rendono particolarmente adatto a una vasta gamma di applicazioni industriali tra cui l'ispezione, la logistica e l'asservimento delle macchine. Nonostante un notevole incremento della massa del robot, che sale a 255 kg, può ancora essere montato in posizione sia orizzontale sia verticale sia capovolta. Si nota una riduzione della ripetibilità che scende a $\pm 0,02$ mm. È inoltre osservabile un incremento della rumorosità rispetto ai modelli più piccoli, che sale da 64,7 dB a circa 70 dB. Si osserva che il grado di

Motion range (°)					
J1	J2	J3	J4	J5	J6
340	180	305	380	280	900

Figura 2.11 Scheda tecnica Fanuc CR-15iA. Rotazione assi

protezione interna del corpo del robot, classificato IP54, è inferiore rispetto a quello del polso, il che indica un'inferiore resistenza alle polveri e una resistenza a spruzzi di liquido da tutte le direzioni, ma non a brevi immersioni. L'alimentazione di questo modello, diversamente dai precedenti, deve essere trifase, tra i 200 e i 230 V; si ha inoltre un notevole incremento della potenza mediamente assorbita per lo svolgimento di un

programma tipico, pari a circa 1000 W. Come per gli altri robot della gamma CR lo spazio di lavoro non ha superficie non sferica, ma si ha un incremento dell'intervallo di rotazione dell'asse del polso J6 che sale a 90°. Si riporta di seguito una rappresentazione dello spazio di lavoro.

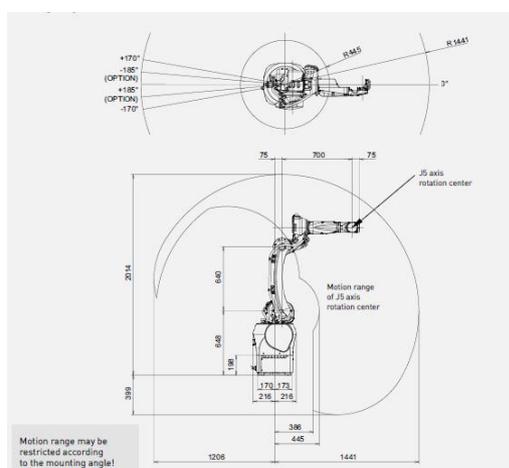


Figura 2.12 Scheda tecnica Fanuc CR-15iA. Work Range

CR-14iA/L. È il nuovo robot collaborativo prodotto da Fanuc, uscito solo nel 2019 e progettato per combinare le caratteristiche del CR-7iA con quelle del più grande CR-15iA. Il CR-14iA/L rappresenta di fatto la versione più grande del modello CR-7iA. Grazie a una nuova meccanica e ad un adattamento dei parametri software, può gestire carichi fino a 14 kg con uno sbraccio fino a 820 mm.

La portata massima di 911 mm può essere raggiunta con un payload di 12 kg. Presenta un notevole miglioramento anche se confrontato con il modello superiore; la massa del robot scende infatti da 255 kg a 55 kg e la ripetibilità torna a $\pm 0,01$ mm. Rispetto al modello CR-15iA, avente payload paragonabile, si torna ad un'alimentazione monofase 200-230 V e si registra una riduzione della potenza media richiesta a 500W. Il connubio di tali specifiche lo rendono un robot di piccole dimensioni con portata

Motion range (°)					
J1	J2	J3	J4	J5	J6
340	166	383	380	240	720

Figura 2.13 Scheda tecnica Fanuc CR-14iA/L. Rotazione assi

relativamente lunga ed elevato carico massimo; queste sue caratteristiche lo rendono particolarmente adatto per installazioni con spazio di lavoro ridotto. In questo modello, come in quelli più piccoli, si osserva che il corpo del robot ha un grado di sicurezza interna IP67, pari a quello del polso. La rotazione massima dei sei assi e di conseguenza lo spazio di lavoro rimangono molto simili agli altri modelli della

gamma.

CR-35iA. Il CR-35iA è uno dei robot collaborativi più grandi sul mercato, con un carico massimo pari a 35 kg e uno sbraccio di 1813 mm. Pur essendo stato costruito su un robot industriale tradizionale, è dotato di caratteristiche di sicurezza superiori, che ne consentono l'utilizzo in applicazioni collaborative. È dotato di una cella di carico che può riconoscere ogni contatto imprevisto, monitorando ogni

movimento del robot. Si osserva che per arrestare il CR-35iA è sufficiente il semplice tocco di un dito, anche quando il robot sta manipolando oggetti di grandi dimensioni. Se paragonata con quella degli altri robot collaborativi, la sua massa pari a 990 kg è estremamente elevata che richiede un’installazione a pavimento. Viene dunque a mancare la caratteristica di semplicità di movimentazione e installazione che caratterizza la maggior parte dei cobot. Si può quindi affermare che il CR-35iA è progettato per svolgere un numero di applicazioni limitato. Si osserva inoltre che il grado di protezione interna del corpo del robot è IP54, inferiore rispetto al polso. Sebbene mostri un peggioramento della ripetibilità, che sale a $\pm 0,03$ mm, mantiene alti standard sulla precisione dei movimenti. L’alimentazione, come per il CR-15iA, deve essere in trifase tra i 380 V e i 575 V, con un consumo medio di potenza a fronte di un lavoro tipico pari a 1000 W. Si riporta il range di movimento dei sei assi del braccio. Non vi sono particolari modifiche nella forma dello spazio di lavoro rispetto agli altri modelli.

Motion range (°)					
J1	J2	J3	J4	J5	J6
370	165	258	400	220	900

Figura 2.14 Scheda tecnica Fanuc CR-35iA. Rotazione assi

2.3.4.KUKA

Kuka è un’azienda tedesca che opera a livello mondiale nei settori della robotica e della automazione industriale. Nel 2013 entra nel mercato della robotica collaborativa con la serie LBR iiwa, LBR è l’acronimo di "Leichtbauroboter" che significa "robot leggero" mentre iiwa è un acronimo di "intelligent industrial work assistant" [16]. Dopo la suddetta serie, composta da tre modelli leggermente differenti, nel 2019 è stato presentato sul mercato un nuovo robot collaborativo, LBR iisy. Il nome vuole richiamare la semplicità con la quale è possibile mettere in opera la macchina.

LBR iiwa. LBR iiwa è un robot con braccio articolato 7 assi classificato come “robot leggero”. L’asse aggiuntivo gli consente di raggiungere qualunque punto dell’area di lavoro da qualunque angolazione e con infinite disposizioni del braccio. Tutti i cavi elettrici e le unità di azionamento si trovano all’interno del robot, per evitare che possano impigliarsi o danneggiare in qualsiasi modo l’operatore in caso di applicazioni collaborative. Ogni asse contiene diversi sensori che forniscono i segnali necessari al controllo del robot; questi vengono al contempo utilizzati per preservare l’integrità del robot e dell’ambiente circostante e l’incolumità degli operatori. I sensori di posizione garantiscono che ogni asse si stia muovendo correttamente; i tre sensori di coppia assicurano invece che i carichi sugli assi non vengano superati e sono particolarmente utili ai fini della sicurezza. Vi sono poi sensori di temperatura che monitorano i valori termici limite dei componenti elettronici; è infatti possibile che si verifichino surriscaldamenti a causa dell’utilizzo prolungato ad elevata potenza del robot in condizione di elevata temperatura esterna; in tal caso il segnale provvederà a spegnere preventivamente il robot preservandone l’integrità. Il livello di protezione dall’ambiente esterno è classificato IP54.

Di seguito si descrivono le tre versioni: LBR iiwa 7 R800, LBR iiwa 7 R800 CR, LBR iiwa 14 R820

LBR iiwa 7 R800 - LBR iiwa 7 R800 CR. Sono due versioni del medesimo robot molto simili tra loro. Con un carico massimo pari a 7 kg, uno sbraccio di 800 mm e una ripetibilità di $\pm 0,1$ mm. Il carico massimo dipende dalla distanza del centro di gravità del pezzo movimentato dalla flangia sulla quale viene montato l'end-effector; l'andamento del carico massimo è rappresentato nel grafico riportato di seguito.

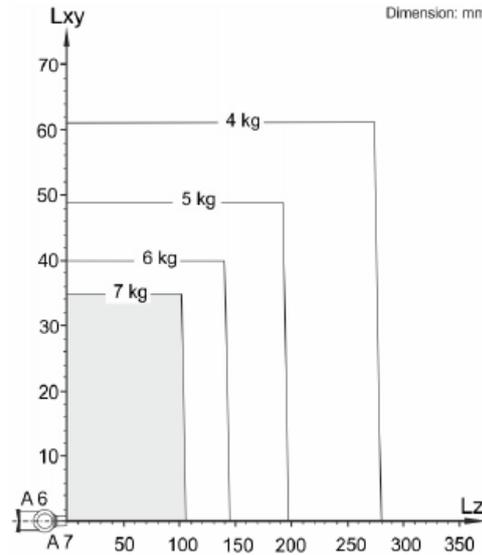


Figura 2.15 Scheda tecnica KUKA LBR iiwa. Diagramma di carico

Con una massa limitata, pari a circa 23,9 kg può essere montato a soffitto, a muro o a pavimento; può al tempo stesso essere movimentato con estrema semplicità. La rumorosità è inferiore a 75 dB. Richiede una temperatura dell'ambiente di utilizzo compresa tra i 5°C e i 45°C. Il range di movimento

Motion range	
A1	$\pm 170^\circ$
A2	$\pm 120^\circ$
A3	$\pm 170^\circ$
A4	$\pm 120^\circ$
A5	$\pm 170^\circ$
A6	$\pm 120^\circ$
A7	$\pm 175^\circ$

dei sette assi è piuttosto ampio e genera un volume di lavoro pari a 1,7 m³. Non essendo consentita una rotazione di 360°, tale volume non è però sferico. La versione CR è appositamente progettata per poter operare in clean room e, a parità di specifiche, può però essere montata esclusivamente a pavimento

Figura 2.16 Scheda tecnica KUKA LBR iiwa. Rotazione assi

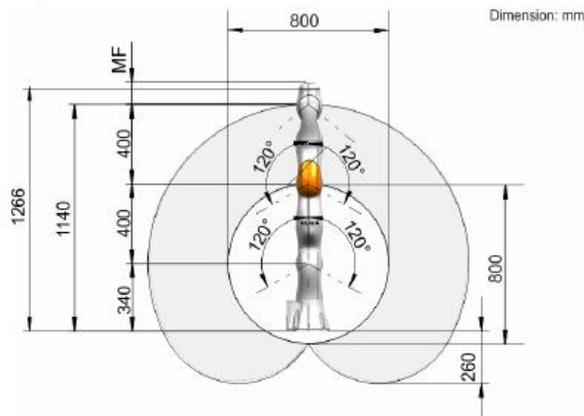


Fig. 4-1: LBR iiwa 7 R800 working envelope, side view

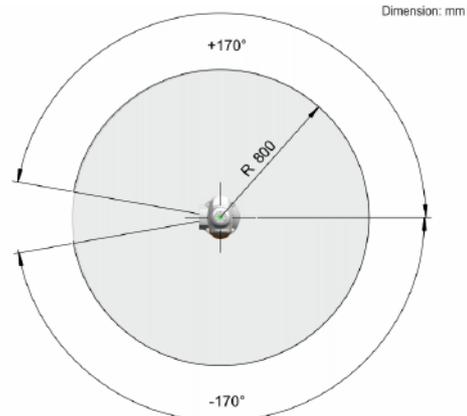


Fig. 4-2: LBR iiwa 7 R800 working envelope, top view

Figura 2.17 Scheda tecnica KUKA LBR iiwa. Work Range

LBR iiwa 14 R820. È il modello più grande della serie LBR con un carico massimo di 14 kg e uno sbraccio di 820 mm, ma subisce un leggero peggioramento della ripetibilità che sale a 0,15 mm. Si riporta di seguito il diagramma del carico massimo movimentabile in funzione della distanza del centro di gravità dell'oggetto dal centro della flangia terminale del cobot.

I livelli sonori rimangono sotto i 75 dB. Anche questo modello, con una massa di 29,9 kg, può essere montato sia pavimento sia a muro sia a soffitto. Come l'LBR iiwa 7 R800, può operare a una temperatura compresa tra i 5°C e i 45 °C. Sviluppa un volume di lavoro scalato rispetto a quello del modello più piccolo, pari a 1,8 m³. Si riporta in figura il range di rotazione degli assi; la forma dello spazio di lavoro è simile a quella del modello più piccolo riportata in figura 2.17.

Motion range	
A1	±170 °
A2	±120 °
A3	±170 °
A4	±120 °
A5	±170 °
A6	±120 °
A7	±175 °

Figura 2.18 Scheda tecnica KUKA LBR iiwa. Rotazione assi

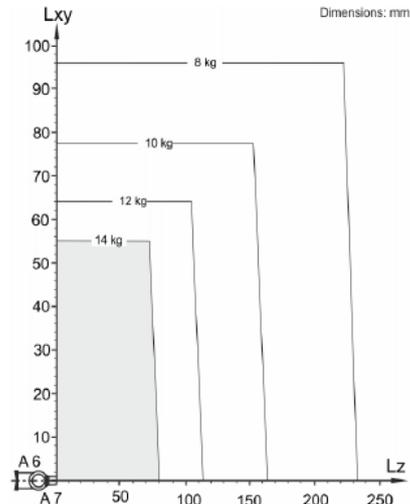


Figura 2.19 Scheda tecnica KUKA LBR iiwa. Diagramma di carico

LBR iiwy. Kuka ha messo sul mercato nel 2019 il suo nuovo modello per rispondere all'esigenza di processi di produzione sempre più flessibili e semplici da gestire. Rispetto ai robot della gamma LBR, sono state apportate delle semplificazioni importanti che, oltre a migliorare la precisione del robot, consentono una consistente riduzione del prezzo, pari a circa il 50%. LBR iiwy è dotato di "soli" sei assi e può manipolare dei carichi inferiori, pari a 3 kg; lo sbraccio passa da 800 mm a 600 mm e la massa

del robot è inferiore ai 19 kg. Punto di forza di questo modello vuole essere proprio la semplicità nel mettere in opera la macchina, dall'installazione alla programmazione, all'impiego. Si prevede che esca sul mercato italiano nei prossimi mesi. Non sono attualmente disponibili ulteriori informazioni relative a questo modello.

2.3.5. Comau

Comau è uno dei leader mondiali nel campo della robotica industriale. E' coinvolta nell'ambito dei robot collaborativi con i modelli AURA e Racer3&5.

AURA. Il progetto AURA (Advanced Use Robot Arm) si pone l'obiettivo di consentire l'interazione tra uomo e macchina senza barriere protettive [17]. A tale scopo sono stati raggiunti standard di sicurezza estremamente elevati attraverso all'integrazione di diverse tecnologie. Il risultato è un robot collaborativo unico nel suo genere, dotato di un sistema appositamente pensato per evitare collisioni impreviste e un carico massimo di gran lunga superiore a tutti gli altri cobot esistenti. Con payload di 170 kg e uno sbraccio di 2800 mm è il robot collaborativo più grande sul mercato; garantisce una ripetibilità di $\pm 0,07$ mm. Dotato di 6 gradi di libertà è ricoperto interamente da una skin di sicurezza avente una doppia funzione. In primo luogo, essendo fatta di un materiale morbido, riduce la forza dell'impatto in caso di collisioni impreviste. È inoltre dotata di numerosi sensori capacitivi di prossimità, integrati con un sistema di prevenzione delle collisioni, appositamente progettato per evitare il contatto imprevisto con persone e oggetti. Comau AURA è equipaggiato con un sistema di visione che gli consente di passare velocemente dalla modalità collaborativa a una modalità ad alta velocità e viceversa. Come effetto collaterale del payload estremamente elevato, ha una massa pari a 1615 kg, che riduce enormemente le caratteristiche di flessibilità di layout e facile movimentazione alle quali aspira la robotica collaborativa. La programmazione è estremamente semplice e può essere effettuata anche mediante guida manuale; l'interfaccia utente, ispirata ai comuni smartphone, è molto intuitiva. Si riportano in figura le specifiche di sei assi e una rappresentazione dell'area di lavoro.

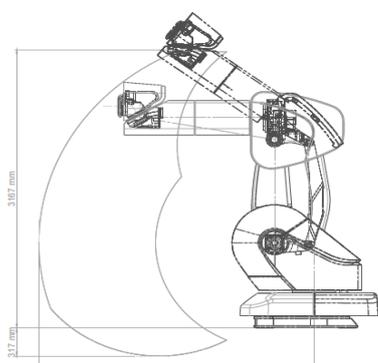


Figura 2.20 Scheda tecnica Comau AURA. Work range

Stroke / (Speed)	Axis	Range / Speed
	Axis 1	+/- 180° (100 %/s)*
	Axis 2	+85° / - 20° (85 %/s)*
	Axis 3	-50° / -220° (100 %/s)*
	Axis 4	+/- 180° (130 %/s)*
	Axis 5	+/- 180° (140 %/s)*
	Axis 6	+/- 180° (190 %/s)*

Figura 2.21 Scheda tecnica Comau AURA. Rotazione assi

Racer 3&5. Sebbene questi due robot non siano a tutti gli effetti stati progettati come collaborativi, si è deciso di citarli all'interno di questo studio in quanto possono essere utilizzati in contesti collaborativi, in assenza di barriere grazie alla tecnologia AURA. Questi robot a sei assi sono estremamente rapidi e compatti, il peso rimane contenuto grazie alla struttura in alluminio che conferisce loro una grande velocità, senza scalfire precisione e ripetibilità dei movimenti. Sono stati progettati per svolgere in modo particolarmente efficiente operazioni di pick and place. Possono essere montati nella postazione di lavoro con qualsiasi configurazione, verticale, orizzontale, capovolta o inclinata. Presentano inoltre un grado di protezione interna IP54.

Il Racer 3 può movimentare carichi inferiori ai 3 kg, con uno sbraccio di 630 mm e una ripetibilità di $\pm 0,02$ mm. Il peso come è contenuto, pari a circa 30 kg.

Il Racer 5 è prodotto in due varianti aventi entrambe un carico massimo di 5 kg e una ripetibilità pari a $\pm 0,03$ mm; il primo ha uno sbraccio di 630 mm, il secondo raggiunge 809 mm. La differenza tra i due Racer 5 viene pagata da un leggero aumento di peso che passa dai 30 kg del più piccolo ai 32 kg del maggiore.

2.3.6.Rethink Robotics

La Rethink Robotics è entrata nel mercato della robotica collaborativa nel 2012 con il Baxter, il primo robot collaborativo a due braccia, per poi espandersi con il suo successore a un solo braccio, il Sawyer [18]. Nell'ottobre del 2018 è stata acquisita dal HAHN Group e il Baxter è stato ritirato dal mercato al fine di puntare sullo sviluppo del più flessibile **Sawyer**. Con un carico massimo di 4 kg e un raggio d'azione pari a 1260 mm il Sawyer è particolarmente idoneo a lavorare in aree di lavoro aventi spazi limitati, grazie alla sua dotazione di 7 gradi di libertà. Si riporta in figura il range di movimento delle varie articolazioni del robot, dalla base J0 all'estremità del polso J6. Grazie al movimento esteso dei sette assi, la zona cieca nel raggio d'azione del robot risulta essere minimo. La sua massa è estremamente contenuta, soli 19 kg, il che ne favorisce la movimentazione. Con una ripetibilità di $\pm 0,1$ mm risulta essere particolarmente adatto a svolgere operazioni di asservimento macchina, pallettizzazione, pick and place o controllo. La sicurezza del robot, certificata dalla norma ISO 10218-1, è garantita tra l'altro da sensori di forza e potenza posizionati in tutti i giunti e da una telecamera con visione periferica posta sullo schermo e una posta sul polso. Lo schermo LCD di cui è dotato consente



Figura 2.22 Schermo LCD Sawyer: stato d lavoro

di visualizzare lo stato di lavoro del robot mediante una scala espressiva degli occhi. È caratterizzato da un grado di protezione dall'ambiente esterno IP54. L'alimentazione avviene in monofase, tra i 100 V e i 240 V. Un primo livello di programmazione è estremamente semplice ed intuitivo, mentre non è altrettanto immediato fare svolgere al cobot azioni leggermente più complesse.

2.3.7. Stäubli

Stäubli nata alla fine del 1800 come piccola azienda del settore tessile è divenuta un gruppo internazionale che opera in più di 50 paesi, entra nel campo della robotica circa 30 anni fa, per seguire poi l'evoluzione di questo mercato con progetta una linea di robot collaborativi. La **serie TX2** è composta da 9 robot differenti a 6 assi e presenta funzionalità di sicurezza opzionali che consentono la collaborazione uomo-macchina. Il braccio estremamente compatto e la possibilità di montaggio a 360 gradi garantiscono una grande flessibilità di utilizzo all'interno di una cella produttiva. [19]



Figura 2.23 Stäubli: Serie TX2

Ciascun robot collaborativo della serie presenta 4 versioni alternative rispetto a quella base:

- HE (Humid environments) è la linea appositamente progettata per operare in ambienti estremamente umidi e presenta dunque un'elevata resistenza alla corrosione anche in condizioni estreme. Particolarmente utilizzata all'interno dell'industria alimentare può anche essere utilizzata in operazioni come lavaggio o taglio a getto d'acqua.
- Stericlean è progettata per resistere al processo di decontaminazione con perossido di idrogeno, richiesto per operare in ambienti di Grado A come laboratori e industrie farmaceutiche. È la linea che risponde ai più elevati standard igienici
- Cleanroom è la versione progettata per rispettare gli stringenti requisiti igienici necessari ad operare in camera bianca. Grazie alla certificazione ISO class 2/3 o ISO class 4 risulta idonea ad operare in campo medico e farmaceutico come nel settore dei semiconduttori e della biotecnologia.
- ESD è la versione sviluppata per prevenire la presenza di scariche elettrostatiche. Garantisce il massimo livello di velocità, precisione e affidabilità nella gestione di componenti elettronici.

MODELLO	TX2-40	TX2-60	TX2-60L	TX2-90	TX2-90L	TX2-90XL
Carico Massimo	2 kg 2.3 kg condizioni specifiche	4.5 kg 9 kg condizioni specifiche	3.7 kg 5 kg condizioni specifiche	14 kg 20 kg condizioni specifiche	12 kg 15 kg condizioni specifiche	7 kg 9 kg condizioni specifiche
Carico Nominale	1.7 kg	3.5 kg	2 kg	6 kg	5 kg	4 kg
Portata (tra l'asse 1 e 6)	515 mm	670 mm	920 mm	1000 mm	1200 mm	1450 mm
Numero di gradi di libertà	6	6	6	6	6	6
Ripetibilità – ISO 9283	± 0.02 mm	± 0.02 mm	± 0.03 mm	± 0.03 mm	± 0.035 mm	± 0.04 mm
Peso	29 kg	52,2 kg	52,5 kg	114 kg	117 kg	119 kg
Controllore Serie Stäubli	CS9	CS9	CS9	CS9	CS9	CS9

Figura 2.24 Brochure TX2. Tabella comparativa specifiche tecniche

Dalla tabella in figura si nota che la massa dei suddetti robot non è particolarmente ridotta, in quanto va dai 29 kg del modello più piccolo ai 52 kg del TX-60, fino a raggiungere 119 kg nella versione XL del TX2-90, il che comporta una minor flessibilità rispetto a robot con peso inferiore. La massa elevata non è però giustificata da un carico massimo movimentabile proporzionato, che per i modelli base TX2-40/60/90 è rispettivamente di 2/4.5/14 kg. La massima distanza raggiungibile dai modelli base è compresa tra i 515 mm del modello più piccolo e i 1000 mm di quello più grande, in linea con gli altri cobot presenti sul mercato. Si evidenzia per i modelli L e XL un incremento della portata rispetto al modello base, con una netta riduzione del carico massimo e della ripetibilità. All'aumentare della portata si osserva una riduzione della ripetibilità da $\pm 0,02$ mm per il modello più piccolo fino a $\pm 0,04$ mm.

Tutti i modelli garantiscono un'ampia area di lavoro sferica che consente al robot di lavorare su ambo i lati. Tutti i cavi e le utenze, sia elettriche che pneumatiche, sono integrate e non è presente alcun cavo scoperto.

2.3.8. Yaskawa

La Smart Series è la nuova linea di robot collaborativi di Yaskawa ed è stata progettata per consentire tutte le modalità di collaborazione uomo-robot ottimizzando i livelli di velocità, carico massimo, sbraccio e sicurezza, al fine di favorirne l'utilizzo in un'ampia gamma di applicazioni [20].

HC10DT. È un robot collaborativo a sei assi che consente differenti modalità di collaborazione, inclusa la limitazione di forza e potenza grazie alla dotazione di sensori in ciascun giunto. Garantisce gli standard di sicurezza descritti nella ISO 13849-1 e rientra nella categoria 3 PLd con certificazione TÜV. La programmazione semplice ed intuitiva può essere effettuata mediante il touchpad o mediante la funzionalità hand-guided teaching, ovvero movimentando manualmente il robot. Consente la manipolazione di carichi fino a 10 kg con un raggio massimo pari a 1200 mm. La ripetibilità di $\pm 0,1$ mm congiunta alle caratteristiche sopra riportate lo rendono particolarmente idoneo a svolgere lavori di assemblaggio, manipolazione, asservimento macchine e packaging. Il peso di soli 48 kg e la possibilità di montaggio a qualsiasi inclinazione aumentano la semplicità di movimentazione dello stesso e le sue

possibili applicazioni. La classificazione di protezione IP20 evidenzia la resistenza da oggetti solidi aventi almeno 12 mm di diametro (come ad esempio le dita dell'operatore), ma non da polveri e liquidi. Si riportano in figura i dati relativi al movimento degli assi e all'area di lavoro del robot stesso.

SPECIFICATIONS				
Axes	Maximum motion range [°]	Maximum speed [°/sec.]	Allowable moment [N*m]	Allowable moment of inertia [kg*m ²]
S	±180	130	-	-
L	±180	130	-	-
U	+355/-5	180	-	-
R	±180	180	27.4	0.78
B	±180	250	27.4	0.78
T	±180	250	9.8	0.1

Figura 2.25 Scheda tecnica HC10DT. Rotazione assi

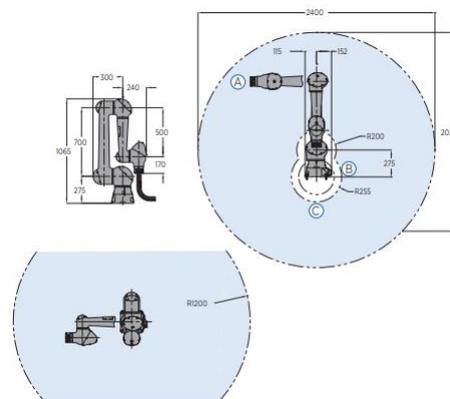


Figura 2.26 Scheda tecnica HC10DT. Work.range

MotoMini. È un modello di robot a sei assi, progettato per la manipolazione e l'assemblaggio di piccoli componenti. Il peso ridotto e le piccole dimensioni consentono al robot di muoversi con elevate velocità e accelerazioni, pur rimanendo all'interno degli standard di sicurezza. La casa produttrice afferma essere il 20% più veloce rispetto a tutti i piccoli robot ad esso comparabili. Il carico massimo è di conseguenza estremamente ridotto, essendo pari a soli 0,5 kg. Il peso di 7 kg rende il MotoMini facilmente trasportabile e movimentabile, la flessibilità è incrementata dalla possibilità di montaggio che può essere a soffitto, pavimento, parete, ma anche a bancone o su installazioni a muro. Per quanto riguarda la precisione nei movimenti è invece garantita una ripetibilità di 0,02 mm. A differenza del **HC10DT**, il MotoMini ha una ridotta mobilità degli assi, per cui ha una zona di lavoro non sferica. Si riportano in figura i dati relativi alla movimentazione degli assi e una rappresentazione dell'area di lavoro. Il cobot presenta uno sbraccio massimo orizzontale pari a 350 mm e uno sbraccio orizzontale di 495 mm. Da notare in questo robot, progettato per operare a una distanza medio-piccola, è l'estrema compattezza, che comprende una base di soli 191 mm x 124 mm, che consente un montaggio estremamente ravvicinato al macchinario o all'area di lavoro con la quale deve interagire, minimizzando gli spazi ingombrati anche grazie alla presenza di un numero di cablaggi estremamente ridotto. L'alimentazione può avvenire sia in monofase che in trifase a una tensione pari a 200-230 VCA, mentre la potenza mediamente assorbita dal robot in azione è di soli 500 W. Si registra infine una rumorosità limitata, inferiore a 65dB anche in caso di operazione a carico e velocità massimi.

Axes	Maximum motion range [°]	Maximum speed [°/sec.]	Allowable moment [N*m]	Allowable moment of inertia [kg*m ²]
S	±170	315	-	-
L	+90/-85	315	-	-
U	+120/-175	420	-	-
R	±140	600	0.42	0.00378
B	+210/-30	600	0.42	0.00378
T	±360	600	0.37	0.00299

Figura 2.27 Scheda tecnica MotoMini. Rotazione assi

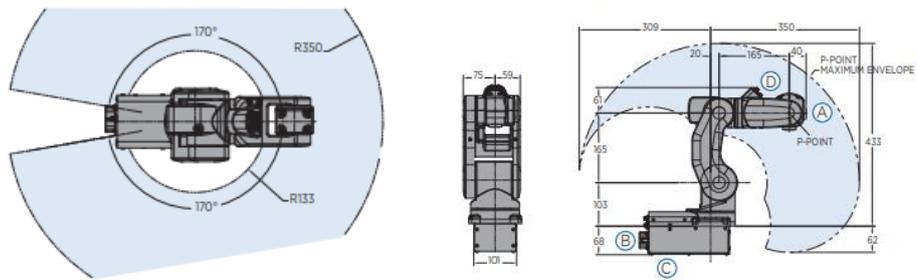


Figura 2.28 Scheda tecnica MotoMini. Work range

GP-Series. La serie GP comprende tre robot di taglie differenti: GP7, GP8, GP12. Tali modelli sono dotati di una particolare unità denominata “Functional Safety Unit” che consente il funzionamento a velocità industriali anche in un ambiente di lavoro collaborativo. Sono inoltre dotati di una classificazione di protezione del polso IP67, che ne consente il completo lavaggio in presenza di ambienti con elevati standard igienici come quello alimentare o quello sanitario. Il resto del corpo è dotato di un livello di protezione IP54, resistenza contro polveri e spruzzi d’acqua, questo può essere ulteriormente incrementato mediante il pacchetto XP (extra protection) che porta la classe a IP65, con completa resistenza contro polveri e getti d’acqua. L’elevata coppia consentita al polso garantisce elevati standard di affidabilità e ripetibilità. In fase di progettazione YASKAWA ha avuto particolare cura nel costruire un robot che consentisse una semplice installazione e manutenzione. La struttura a braccio cavo, unita a un design volto a minimizzare le interferenze, consentono l’installazione di diversi robot in spazi ridotti. Si evidenzia inoltre la possibilità di fissare il robot a pavimento, soffitto, muro o su piani inclinati. Questi robot sono in particolar modo indicati per operazioni di assemblaggio, manipolazione materiali e packaging; sono inoltre dotati del NSF-H1 che certifica una particolare opzione di lubrificante disponibile per ambienti di confezionamento di prodotti alimentari o beni di consumo.

GP7-GP8. Questi due cobot presentano rispettivamente un carico massimo di 7 kg e 8 kg; il più piccolo dei due garantisce una ripetibilità leggermente peggiore, $\pm 0,03$ mm del GP7 contro $\pm 0,02$ mm del GP8, ma è caratterizzato da una zona di lavoro più ampia. Il GP7 ha uno sbraccio massimo in direzione orizzontale rispetto alla base di 927 mm e uno sbraccio verticale di 1693 mm; il GP8 ha invece 727 mm di sbraccio orizzontale e 1312 mm in orizzontale. Si riportano in figura i dati relativi agli assi e una rappresentazione dell’area di lavoro dei due robot.

La massa dei bracci è contenuta, 34kg per il più piccolo e 32 kg per la taglia con carico maggiore. È prevista un’alimentazione a 380-480 VCA e per l’esecuzione di un lavoro medio si stima l’assorbimento di 1000 W di potenza.

GP12. È il modello più grande della serie, con un carico massimo di 12 kg e un'area di lavoro nettamente più ampia degli altri due modelli, 1440 mm di sbraccio orizzontale e 2511 di sbraccio verticale. Si osserva un lieve peggioramento della ripetibilità che passa a $\pm 0,06$ mm. La massa è circa quadruplicata, 130 kg. Anche per questo robot è richiesta un'alimentazione a 380-480V, si osserva invece un leggero incremento della potenza assorbita, che sale a 1,5 kW. Si riportano anche qui in figura le specifiche tecniche relative agli assi, l'area di lavoro è invece paragonabile a quella riportata per i modelli più piccoli.

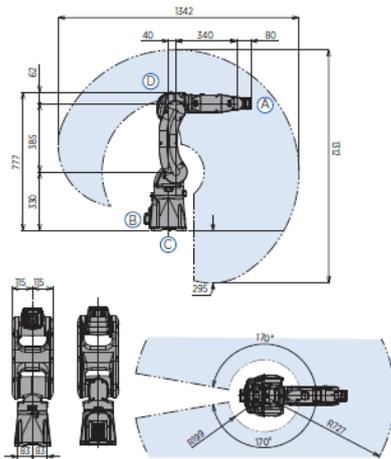


Figura 2.29 Scheda tecnica GP7. Work range

SPECIFICATIONS								
Axes	Maximum motion range [°]		Maximum speed [°/sec.]		Allowable moment [N·m]		Allowable moment of Inertia [kg·m ²]	
	GP7	GP8	GP7	GP8	GP7	GP8	GP7	GP8
S	±170	±170	375	455	-	-	-	-
L	+145/-65	+150/-65	315	385	-	-	-	-
U	+255/-116	+255/-113	410	520	-	-	-	-
R	±190	±190	550	550	17	17	0.5	0.5
B	±135	±135	550	550	17	17	0.5	0.5
T	±360	±360	1000	1000	10	10	0.2	0.2

Figura 2.30 Scheda tecnica GP7-8. Rotazione assi

SPECIFICATIONS				
Axes	Maximum motion range [°]	Maximum speed [°/sec.]	Allowable moment [N·m]	Allowable moment of inertia [kg·m ²]
S	±170	260	-	-
L	+155/-90	230	-	-
U	+150/-85	260	-	-
R	±200	470	22	0.65
B	±150	470	22	0.65
T	±455	700	9.8	0.17

Figura 2.31 Scheda tecnica GP12. Rotazione assi

2.3.9. Productive Robotics

ZBE Inc. nasce come azienda produttrice di videocamere robotiche per effetti speciali cinematografici. Dopo aver gradualmente sviluppato un'ampia base tecnologica nell'ambito dell'imaging digitale, della robotica e della mecatronica, nel 2010 costituisce Productive Robotics al fine di concentrarsi esclusivamente su sistemi robotici collaborativi. Sviluppa un nuovo brevetto relativo al "teach without programming" per eliminare la complessità operativa, migliorare la flessibilità delle applicazioni e garantire un'integrazione efficiente attraverso a un sistema basato su una programmazione nulla.

La serie di robot **OB7** è composta da tre modelli differenti [21]. Grazie alla tecnologia del braccio articolato a 7 gradi di libertà può raggiungere ciascun punto dello spazio di lavoro attraverso a molteplici posizioni degli assi. Tutti i robot della serie sono idonei a svolgere un'ampia gamma di operazioni come asservimento macchina, assemblaggio, verniciatura, incollaggio, pallettizzazione e ispezione. I tre robot della serie sono molto simili tra loro in quanto si distinguono solo per carico massimo, sbraccio e massa. Il modello base "OB7" ha un carico massimo di 5kg, uno sbraccio pari a 1000 mm e una massa di soli 22 kg. Vi è poi il cobot "OB7-Max12", di dimensioni maggiori, consente di sollevare carichi fino a 12



Figura 2.32 OB7

kg in uno spazio di lavoro sferico avente raggio 1300 mm, la massa di tale braccio articolato è necessariamente maggiore, pari a 58 kg rimane tuttavia contenuta. L'ultimo modello della serie è "OB7-Max 8", con un carico massimo di 8 kg, intermedio rispetto agli altri due, è il cobot che consente il maggior raggio d'azione, pari a 1700 mm. La massa di questo robot è la medesima dell'OB7-Max 12. Tutti robot della serie possono essere montati sia in verticale, a pavimento o a soffitto, sia in orizzontale a muro. Relativamente allo spazio di lavoro si osserva che a tutti i giunti è permessa una rotazione di $\pm 360^\circ$, mentre i movimenti vengono

svolti con una ripetibilità di $\pm 0,1$ mm a una velocità massima di 2 m/s. Il grado di protezione interna del robot è IP61, per cui è garantita completa resistenza alle polveri, ma la resistenza ai liquidi è piuttosto ridotta. Si segnala inoltre che l'ambiente di lavoro deve trovarsi a una temperatura compresa tra 0°C e 37°C . L'alimentazione deve essere a 100-240 VCA e si prevede un consumo di potenza medio pari a 650 W per l'OB7 e di circa 1000 W per gli OB7-Max.

2.3.10. Techman Robot

Techman Robot è una azienda sussidiaria di Quanta Computer Inc., il principale produttore di notebook del mondo. Dopo essere stata fondata nel 2016, è rapidamente cresciuta fino a divenire il secondo principale brand nel campo della robotica collaborativa, con centinaia di distributori in tutto il mondo [22]. Il TM5, progettato a Taiwan in gran segreto, è in grado di utilizzare smartphone intelligenti per completare la modifica automatizzata dei processi. Oggi la serie TM comprende quattro differenti modelli di robot collaborativi a sei assi suddivisi in "Regular payload series" TM5 e "Medium-Heavy payload series" TM12/TM14. L'implementazione delle operazioni non richiede la conoscenza di alcun tipo di linguaggio di programmazione. Sfrutta un innovativo software di editing basato sui diagrammi di flusso, nel quale a ciascuna azione corrisponde un'icona differente; è inoltre caratterizzato da un intuitivo sistema click and drag (clicca e trascina). I robot TM sono dotati di un sistema di visione incorporato che integra al suo interno le componenti hardware e software. Alcune funzioni standard in dotazione sono localizzazione degli oggetti, miglioramento immagine, riconoscimento colori, corrispondenza a un modello e lettura di un codice a barre.

La serie TM5 è quella avente carichi inferiori e include due modelli differenti, il TM5-700 e il TM5-900. Entrambi i robot hanno 6 gradi di libertà, una classificazione IP54 e possono operare a una temperatura compresa tra $0-50^\circ\text{C}$; sono inoltre dotati di una ripetibilità di $\pm 0,05$ mm. Il consumo medio per lo svolgimento di un lavoro è di 220 W e necessitano di un'alimentazione a 100-240 VAC.

TM5-700. Il modello più piccolo della serie può sollevare un carico massimo di 6 kg ed è dotato di uno sbraccio pari a 700 m. La velocità caratteristica del braccio articolato è di circa 1,1 m/s. Il peso del robot è pari a 22,1 kg; non sono presenti informazioni relative alle possibili soluzioni di montaggio.

TM5-900. È il modello più grande dei TM5; sebbene consenta di movimentare carichi inferiori, fino a 4 kg, ha uno sbraccio massimo di 900 mm, con conseguente incremento della massa a 22,6 kg. Può raggiungere una velocità di circa 1,4 m/s

Si riporta in figura il range di movimento dei sei assi per questi due cobot.

Joint ranges	J1	+/- 270°
	J2,J4,J5	+/- 180°
	J3	+/- 155°
	J6	+/- 270°

Figura 2.33 Scheda tecnica TM5. Rotazione assi

TM12-TM14. La serie progettata per movimentare carichi medio-alti comprende anch'essa due modelli differenti di robot, il TM12 e il TM14. Come i cobot dell'altra serie vengono alimentati a 100-240 VAC, con assorbimento medio di potenza pari a 300 W. Dotati di una ripetibilità pari a $\pm 0,1$ mm possono essere utilizzati in numerosi settori industriali. Sebbene anche in questo caso il peso delle braccia articolate sia contenuto, l'azienda non fornisce alcun dato relativo alle possibili soluzioni di montaggio. Come per la serie TM5, sono classificati con un grado IP54 e possono lavorare in ambienti aventi una temperatura compresa tra 0-50°C.

Il TM12 presenta un carico massimo pari a 12 kg, il raggio d'azione è piuttosto ampio, pari a 1300 mm. Il peso del braccio articolato è di soli 33,3 kg, ciò ne consente la facile movimentazione, non sono però presenti informazioni relative alle possibili soluzioni di montaggio.

Il TM14, rispetto al modello TM12, presenta un carico massimo maggiore, 14 kg, ma al contempo un raggio d'azione inferiore, pari a 1100 mm. Risulta essere minore anche la massa del robot che è di 32,6 kg. Il range d'azione dei sei assi è paragonabile a quello relativo ai robot della serie TM5 riportati precedentemente in figura.

2.3.11. AUTOMATA

Automata è stata fondata nel 2015 per rispondere al bisogno delle piccole aziende di avere accesso a sistemi robotici a basso costo [23]. L'obiettivo di Automata, come afferma uno dei due cofondatori è quello di "democratizzare la robotica attraverso a una piattaforma hardware a basso costo e un software semplice da usare". Nasce dunque EVA, il robot in materiale plastico avente un costo di soli 3000 \$.

EVA è un robot a sei assi ultraleggero, 2,3 kg, in grado di movimentare carichi fino a 0,750 kg che salgono a circa 1,25 kg limitando il raggio d'azione. Lo sbraccio massimo è di 600 mm ed è dotato di una ripetibilità di 0,5 mm; l'installazione del robot deve essere necessariamente in verticale a testa in su. Il grado di protezione interna del braccio è IP20, per cui il robot non è in alcun modo resistente ai liquidi e non è idoneo a operare in ambienti sporchi. Si riporta in figura il range di rotazione dei sei assi. L'alimentazione del braccio richiede una tensione di 24 VDC e il consumo di potenza non supera mai i 280 W. Le principali attività che è in grado di svolgere sono l'asservimento macchina, il riordino di oggetti sparsi, la gestione di test e l'ispezione dei prodotti. La programmazione è estremamente semplice

e solitamente richiede meno di 30 minuti può essere completata mediante un comune PC ed è basata su un modello hand-guiding.



Figura 2.34 Scheda tecnica EVA. Rotazione assi

2.3.12. MABI Robotic

MABI AG è una società svizzera che opera da trent'anni nelle vendite di soluzioni di ingegneria meccanica e dell'automazione. Presenta da qualche anno la sua personale linea di robot industriali che include soluzioni idonee a molteplici scenari applicativi, partendo da piccoli robot a sei assi fino a robot industriali con capacità di carico pari a 150 kg. I robot più piccoli sono quelli della serie Speedy e rientrano nel merito di questo studio in quanto sono idonei a operare in contesti collaborativi a fianco dell'uomo senza richiedere la presenza di barriere protettive. Si tratta più precisamente di due modelli distinti, lo Speedy 6 e lo Speedy 12 [24]. Questi cobot, dotati di sofisticati sensori, sono in grado di elaborare informazioni mediante delle routine cognitive che rielaborano i dati raccolti relativi al mondo reale. Per promuovere l'interazione simbiotica tra uomo e macchina sono stati sviluppati appositi strumenti software. Il grado di protezione interna IP54 indica la discreta resistenza a polveri e liquidi grazie alla quale può operare in numerosi ambienti diversi. Relativamente all'ambiente di lavoro sono anche presenti informazioni relativamente al range di temperature che deve essere $0^\circ\text{-}55^\circ\text{C}$ e l'umidità relativa massima che non deve superare il 95%.

Speedy 6. Lo Speedy 6 è un robot collaborativo a 6 assi in grado di movimentare carichi fino a 6 chilogrammi con una portata di 800 mm. Il robot garantisce un elevato standard ed efficienza nei lavori ripetitivi garantendo una ripetibilità sui movimenti pari a $\pm 0,1$ mm. Il peso del braccio è contenuto, pari a soli 28 kg, ne consente una semplice movimentazione all'interno dello stabilimento; il robot può essere montato in qualsiasi posizione, in verticale, capovolto o inclinato. Si riportano in figura i dati relativi ai sei assi, range di movimento e velocità angolari.

Achsdaten	Bereich (Software)	Geschwindigkeit
Achse A1	$\pm 300^\circ$	75° / s
Achse A2	$\pm 90^\circ$	75° / s
Achse A3	$\pm 160^\circ$	145° / s
Achse A4	$\pm 300^\circ$	145° / s
Achse A5	$\pm 117.5^\circ$	275° / s
Achse A6	$\pm 180^\circ$ (opt. endlos)	275° / s

Figura 2.35 Scheda tecnica Speedy 6. Rotazione assi e velocità angolari

Achsdaten	Bereich (Software)	Geschwindigkeit
Achse A1	$\pm 300^\circ$	145° / s
Achse A2	$\pm 90^\circ$	145° / s
Achse A3	$\pm 160^\circ$	180° / s
Achse A4	$\pm 300^\circ$	180° / s
Achse A5	$\pm 117.5^\circ$	275° / s
Achse A6	$\pm 180^\circ$ (opt. endlos)	275° / s

Figura 2.36 Scheda tecnica Speedy 12. Rotazione assi e velocità angolari

Speedy12. Lo Speedy 12 è il robot collaborativo più grande della serie, è dotato di una portata di 1250 mm e può sollevare carichi fino a 12 kg. Come il suo fratello più piccolo ha una ripetibilità di $\pm 0,1$ mm che ne garantisce l'elevata precisione. La massa del braccio di 35 kg è superiore rispetto a quella dello Speedy 6, può però anch'esso essere facilmente spostato e montato in qualsiasi configurazione all'interno della postazione di lavoro incrementando le possibili soluzioni applicative. Si riportano anche in questo caso i dati relativi agli assi del braccio robotico.

2.3.13. Kawada Robotic

Kawada Robotics è una società con grande esperienza nel campo dell'ingegneria aeronautica, meccanica, elettrica e dei controlli. Ha sviluppato un NEXTAGE robot umanoide in collaborazione con il National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) [25]. NEXTAGE è un robot collaborativo a due braccia, ciascuno delle quali dotato di 6 gradi di libertà; il robot è dotato di tre ulteriori assi, due nel collo e uno nel corpo. Sono integrate al suo interno tre telecamere diverse, una per ciascun polso e una all'interno della testa dotata di stereo vision, il che gli consente di valutare le coordinate in 3D con estrema precisione. Nelle specifiche standard è compreso un sistema di riconoscimento delle immagini. Il corpo ha un peso di circa 29 kg e deve necessariamente essere montato sull'apposita base mobile; il robot montato raggiunge un'altezza di 1735,6 mm e le ruote di cui è dotata la base ne consentono una facile movimentazione. Le dimensioni contenute lo rendono inoltre idoneo a operare all'interno di layout con poco spazio a disposizione. Ciascun braccio è in grado di sollevare un carico massimo pari a 1,5 kg, garantendo una ripetibilità sulla posizione di $\pm 0,03$ mm. Sul corpo è presente un display che consente di visualizzare lo stato di lavoro. Per quanto riguarda l'ambiente di lavoro, è richiesta un'umidità relativa compresa tra il 20% e l'80% con la particolare attenzione che non

si verifichi alcun fenomeno di condensa; la temperatura deve invece rimanere nell'intervallo 0-40°C. Si riporta in figura il range di movimento dei 15 assi.

Joint	Motion range (deg)	
Body	Waist Y	±163
Neck	Neck Y	±70
	Neck P	+75(+63),-23 *
Right arm	Shoulder Y	±88
	Shoulder P	+ 60,-140
	Elbow P	+ 0,-158
	Wrist Y	+ 105,-165
	Wrist P	±100
	Wrist R	±163
Left arm	Shoulder Y	±88
	Shoulder P	+ 60,-140
	Elbow P	+ 0,-158
	Wrist Y	+ 165,-105
	Wrist P	±100
	Wrist R	±163

Figura 2.37 Scheda tecnica NEXTAGE. Rotazione assi

2.3.14. Hanwha Techwin

La Hanwha Techwin ha rilasciato l'HCR-5, il primo robot collaborativo in Corea, nel 2017; da allora si sono aggiunti alla serie altri due robot, l'HCR-3 e l'HCR-12 [26]. Tali robot ricordano molto quelli prodotti dalla danese leader del mercato Universal Robots, e sembra che possano fare concorrenza proprio a questi ultimi. La qualità dell'HR5 non è in dubbio; il robot ha infatti vinto il Germany's iF Design Award 2017, uno dei più prestigiosi premi di progettazione.

HCR-3. L'HCR-3 è il robot più piccolo della serie, è dotato di sei gradi di libertà, può movimentare carichi di 3 kg con un raggio d'azione pari a 630 mm. La rotazione infinita dell'asse J6 del polso lo rende particolarmente rapido ed efficiente nelle operazioni di avvitaratura. È dotato di una ripetibilità di ±0,1 mm e il peso è di soli 13 kg, il che lo rende movimentabile con estrema facilità in caso di modifiche nel layout. Può essere montato a pavimento, soffitto o parete garantendo dunque una buona flessibilità nell'ottica di ottimizzazione degli spazi all'interno della postazione di lavoro. Può operare in ambienti a una temperatura di 0-50°C. L'HCR-3 è l'unico robot della serie con classificazione IP64, che certifica la possibilità di adoperarlo in ambienti estremamente polverosi. L'alimentazione del robot avviene a 100-240 VAC, a una frequenza di 50-60 Hz. Osservando in figura la rappresentazione degli assi e la tabella con il range di movimento di ognuno di essi, è possibile osservare come la rotazione dell'asse J3 sia inferiore rispetto a quella degli altri 5. Ciò è dovuto alla particolare struttura del robot in quanto nelle due posizioni estreme del range di movimento, un'ulteriore rotazione non è consentita dal

Operational axis	Operational range
J1 axis	$-360^\circ < r_{z_1} \leq +360^\circ$
J2 axis	$-360^\circ < r_{z_2} \leq +360^\circ$
J3 axis	$-160^\circ < r_{z_3} \leq +160^\circ$
J4 axis	$-360^\circ < r_{z_4} \leq +360^\circ$
J5 axis	$-360^\circ < r_{z_5} \leq +360^\circ$
J6 axis	$-\text{infinite} < r_{z_6} \leq +\text{infinite}$

Figura 2.38 Scheda tecnica HCR-3. Rotazione assi

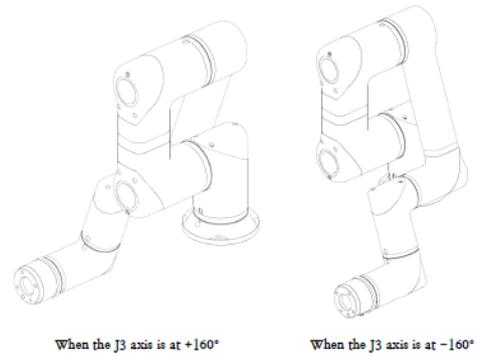


Figura 2.39 HCR-3 Vincolo su J3

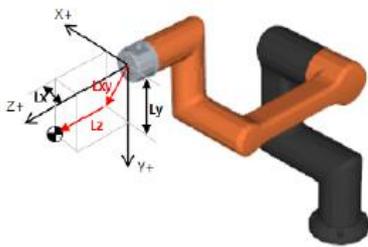


Figura 2.40 Scheda tecnica HCR-3. Sistema di riferimento flangia

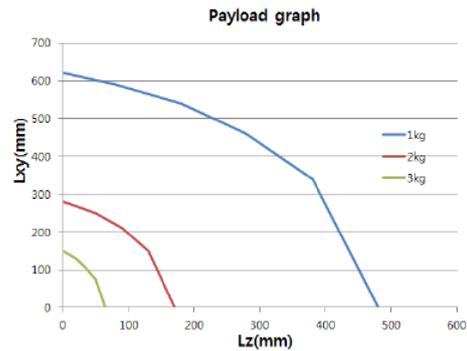


Figura 2.41 Scheda tecnica HCR-3. Carico massimo

corpo stesso del robot. Si riporta infine il grafico del carico massimo movimentabile in funzione della distanza del centro di gravità del corpo rispetto al centro della flangia.

HCR-5. L'HCR-5 è il primo modello messo in commercio; è anch'esso un cobot a 6 assi, ha un carico massimo di 5 kg e uno sbraccio di 915 mm. La sua ripetibilità è pari a $\pm 0,1$ mm come per l'HCR-3; ha una massa di 21 kg e può essere montato anch'esso a pavimento muro e soffitto; deve operare a una temperatura compresa tra 0°C e 50°C . Rispetto al modello più piccolo non è dotato di rotazione infinita all'asse J6 e ha un grado di protezione interna IP54. In compenso, oltre alle specifiche migliorate in termini di carico massimo e portata, è dotato di certificazione ISO Cleanroom Class 2. L'alimentazione ha le stesse specifiche del modello più piccolo. Si riporta in figura il range di

Operational axis	Operational range
J1 axis	$-360^\circ < r_{z_1} \leq +360^\circ$
J2 axis	$-360^\circ < r_{z_2} \leq +360^\circ$
J3 axis	$-165^\circ < r_{z_3} \leq +165^\circ$
J4 axis	$-360^\circ < r_{z_4} \leq +360^\circ$
J5 axis	$-360^\circ < r_{z_5} \leq +360^\circ$
J6 axis	$-360^\circ < r_{z_6} \leq +360^\circ$

Figura 2.42 Scheda tecnica HCR-5. Rotazione assi

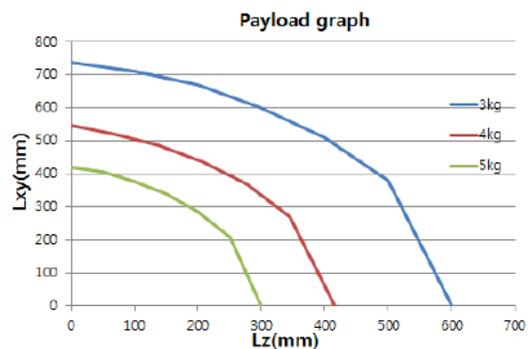


Figura 2.43 Scheda tecnica HCR-3. Carico massimo

movimento degli assi del braccio articolato. Si osserva il medesimo vincolo strutturale relativo all'asse J3, sebbene in questo caso il movimento consentito sia leggermente più ampio. Si riporta anche per questo modello l'andamento del carico massimo in funzione dello spostamento del centro di gravità del corpo manipolato rispetto al sistema di riferimento posto al centro della flangia.

HCR-12. Questo robot è il più grande della serie in termini di payload, pari a 12 kg, e di raggio d'azione, pari a 1300 mm. Rispetto agli altri due modelli ha la medesima ripetibilità, necessita degli stessi standard per l'alimentazione e può operare in ambienti con il medesimo range di temperatura. Il suo grado di protezione interna è IP 54, come l'HCR-5, ma il suo peso è decisamente maggiore, pari a 52 kg, e può essere montato esclusivamente a muro o pavimento, non prevedendo la soluzione a soffitto. Relativamente range di azione degli assi, è possibile osservare come questo sia inferiore rispetto agli altri modelli, con la conseguente riduzione dello spazio di lavoro relativo. Si osserva come per gli altri due modelli della serie il vincolo strutturale sull'asse J3. Si riporta infine in figura il diagramma del payload in funzione della posizione del baricentro del corpo movimentato rispetto al sistema di riferimento posto al centro della flangia del polso.

Operational axis	Operational range
J1 axis	$-180^\circ \leq r_{z_1} \leq +180^\circ$
J2 axis	$-165^\circ \leq r_{z_2} \leq +135^\circ$
J3 axis	$-85^\circ \leq r_{z_3} \leq +245^\circ$
J4 axis	$-190^\circ \leq r_{z_4} \leq +190^\circ$
J5 axis	$-170^\circ \leq r_{z_5} \leq +170^\circ$
J6 axis	$-360^\circ \leq r_{z_6} \leq +360^\circ$

Figura 2.44 Scheda tecnica HCR-12. Rotazione assi

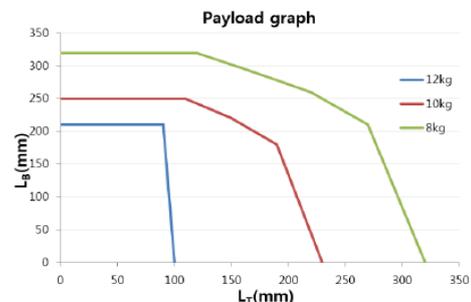


Figura 2.45 Scheda tecnica HCR-3. Carico massimo

2.3.15. AUBO Robotics

L'azienda, fondata nel 2014, è stata creata grazie alla collaborazione di tre professori universitari provenienti da Stati Uniti e Cina [27]. La mission aziendale è di creare dei cobot che consentano di sviluppare avanzate soluzioni di collaborazione uomo-robot all'interno delle piccole-medie imprese. A partire dal primo robot progettato, ha dunque puntato a combinare lo stato dell'arte tecnologico con un'interfaccia il più intuitiva possibile. L'azienda è oggi presente con i suoi stabilimenti in Cina e USA, ma è supportata da una rete di venditori in oltre 50 paesi. Attualmente sono commercializzati cinque modelli differenti di robot collaborativo a 6 gradi di libertà (i3; i5; i7; i10). La loro architettura open source rende questi robot idonei sia all'uso industriale che accademico. Il sistema hand-guiding di cui è dotato consente di programmare il robot senza avere particolari competenze in materia. La natura estremamente leggera e compatta, con angoli arrotondati e servo motori con bassa inerzia rendono questi robot particolarmente idonei alle applicazioni

AXIS MOVEMENT	WORKING RANGE
J1 axis rotation base	(+/-) 175°
J2 axis rotation shoulder	(+/-) 175°
J3 axis rotation elbow	(+/-) 175°
J4 axis wrist rotation	(+/-) 175°
J5 axis wrist swing	(+/-) 175°
J6 axis wrist rotation	(+/-) 175°

Figura 2.46 Scheda tecnica AUBO-i5. Rotazione assi

collaborative. Tutti i robot della serie sono idonei ad operare a una temperatura compresa nell'intervallo 0-45°C e sono forniti di un grado di protezione IP54. È inoltre possibile osservare che presentano tutti lo stesso range di movimento degli assi e possono essere montati sia a pavimento sia a muro sia a soffitto grazie alla loro massa ridotta.

AUBO-i3. È il modello più piccolo della serie, caratterizzato da un carico massimo di 3kg e un raggio d'azione pari a 625 mm. Garantisce inoltre una ripetibilità sui movimenti di $\pm 0,03$ mm. Costruito in alluminio, plastica e acciaio presenta una massa di 15,5 kg, per cui risulta dunque essere abbastanza leggero. Nello svolgimento delle sue operazioni assorbe mediamente una potenza pari a 150 W.

AUBO-i5. Leggermente più grande rispetto al modello precedente, può sollevare un carico massimo pari a 5 kg con un raggio d'azione caratteristico di 924 mm. Si riscontra un live peggioramento della ripetibilità che sale a $\pm 0,05$ mm. Le dimensioni maggiori comportano un aumento della massa del braccio a 24 kg. Si può inoltre evidenziare un leggero aumento della potenza assorbita nello svolgimento di un lavoro, che sale a 200 W

AUBO-i7. Come si può intuire dal nome, questo modello consente di sollevare carichi fino a 7 kg. Con un raggio d'azione di 1150 mm, garantisce una ripetibilità pari a quella del modello i5. La massa di 30 kg, seppur leggermente aumentata rispetto al modello inferiore, risulta sempre estremamente contenuta. Si riscontra invece un netto aumento nel consumo di potenza che raddoppia passando così da 200 W a 400 W.

AUBO-i10. Con un carico massimo di 10 kg e uno sbraccio di 1350 mm è il robot più grande tra quelli prodotti da AUBO. La ripetibilità dei movimenti rimane fissa a $\pm 0,05$ mm, mentre la massa cresce leggermente (37 kg). A differenza del i7 non si osserva in questo caso un aumento rilevante nei consumi rispetto al modello immediatamente inferiore; si prevede infatti un assorbimento di potenza di 500 W.

2.4. Tabelle comparative

I dati presentati all'interno del paragrafo precedente sono stati integrati con quelli relativi alla velocità di movimento e sono stati raccolti nelle tabelle comparative riportate di seguito. In particolare, sono stati raccolti raccolte le informazioni relative a: modello, produttore, carico massimo, sbraccio, numero di assi, massa, ripetibilità, configurazioni di montaggio, potenza assorbita, costo, certificazione clean room, classificazione IP. Si evidenzia che le velocità massime indicate in tabella non corrispondono alle velocità a cui il robot può muoversi in modalità collaborativa. In presenza di un operatore le velocità massime saranno dunque determinate attraverso alle norme armonizzate, in funzione della massa del robot, del carico movimentato e della tipologia di movimento. I dati riportati forniscono dunque un'informazione sulle velocità raggiungibili in presenza di un'area di lavoro separata temporalmente o spazialmente. Nel caso di applicazione collaborativa, la velocità massima diviene dunque di secondaria importanza.

Tabella 2.1 Confronto caratteristiche tecniche robot collaborativi

Modello cobot	Produttore	Payload [kg]	Sbraccio [mm]	n° assi	massa [kg]
IRB 14000 YuMi	ABB	0,5 x 2	500	7	38
UR3	Universal Robots	3	500	6	11
UR3e	Universal Robots	3	500	6	11
UR5	Universal Robots	5	850	6	18,4
UR5e	Universal Robots	5	850	6	20,6
UR10	Universal Robots	10	1300	6	28,9
UR10e	Universal Robots	10	1300	6	33,5
UR16e	Universal Robots	16	900	6	33,1
CR-4iA	Fanuc	4	550	6	48
CR-7iA	Fanuc	7	717	6	53
CR-7iA/L	Fanuc	7	911	6	55
CR-15iA	Fanuc	15	1441	6	255
CR-14iA	Fanuc	14	820	6	55
CR-35iA	Fanuc	35	1813	6	990
LBR iiwa 7 R800 (CR)	KUKA	7	800	7	23,9
LBR iiwa 14 R820	KUKA	14	820	7	29,9
LBR iisy	KUKA	3	600	6	19
Comau AURA	Comau	170	2800	6	1615
Racer 3*	Comau	3	630	6	30
Racer 5 0.63*	Comau	5	630		30
Racer 5 0.80*	Comau	5	809	6	32
Sawyer	Rethink Robotics	4	1260	7	19
TX2-40	Stäubli	2*	515	6	29
TX2-60	Stäubli	4,5	670	6	52,2
TX2-60L	Stäubli	3,7	920	6	52,5
TX2-90	Stäubli	14	1000	6	114
TX2-90L	Stäubli	12	1200	6	117
TX2-90XL	Stäubli	7	1450	6	119
HC10DT	Yaskawa	10	1200	6	48
MotoMini	Yaskawa	0,5	y=350 x=496	6	7
GP7	Yaskawa	7	y=927 x=1693	6	34
GP8	Yaskawa	8	y=927 x=1694	6	32
GP12	Yaskawa	12	y=1440 x=2511	6	130
OB7	Productive Robotics	5	1000	7	22
OB7-Max 12	Productive Robotics	12	1300	7	58
OB7-Max 8	Productive Robotics	8	1700	7	58
TM5-700	Techman Robot	6	700	6	22,1
TM5-900	Techman Robot	4	900	6	22,6
TM12	Techman Robot	12	1300	6	33,3
TM14	Techman Robot	14	1100	6	32,6
EVA	Automata	0,75 (1,25)	600	6	2,3
Speedy 6	MABI Robotic	6	800	6	28
Speedy 12	MABI Robotic	12	1250	6	35

NEXTAGE	Kawada Robotic	1,5 x 2		6 (15)	29
HCR-3	Hanwha Techwin	3	630	6	13
HCR-5	Hanwha Techwin	5	915	6	21
HCR-12	Hanwha Techwin	12	1300	6	52
AUBO-i3	AUBO	3	625	6	15,5
AUBO-i5	AUBO	5	924	6	24
AUBO-i7	AUBO	7	1150	6	30
AUBO-i10	AUBO	10	1350	6	37

Tabella 2.2 Confronto caratteristiche tecniche robot collaborativi

Modello cobot	Ripetibilità [mm]	montaggio	P_ass [W]
IRB 14000 YuMi	0,02	tavolo	
UR3	0,1	pavimento-muro-soffitto-inclinato	125
UR3e	0,03	pavimento-muro-soffitto-inclinato	150
UR5	0,1	pavimento-muro-soffitto-inclinato	150
UR5e	0,03	pavimento-muro-soffitto-inclinato	250
UR10	0,1	pavimento-muro-soffitto-inclinato	250
UR10e	0,05	pavimento-muro-soffitto-inclinato	400
UR16e	0,05	pavimento-muro-soffitto-inclinato	350
CR-4iA	0,01	pavimento-muro-soffitto	500
CR-7iA	0,01	pavimento-muro-soffitto	500
CR-7iA/L	0,01	pavimento-muro-soffitto	500
CR-15iA	0,02	pavimento-muro-soffitto	1000
CR-14iA	0,01	pavimento-muro-soffitto	500
CR-35iA	0,03	pavimento	1000
LBR iiwa 7 R800 (CR)	0,1	pavimento-muro-soffitto	
LBR iiwa 14 R820	0,15	pavimento-muro-soffitto	
LBR iisy			
Comau AURA	0,07	pavimento	
Racer 3*	0,02		
Racer 5 0.63*	0,03		
Racer 5 0.80*	0,03		
Sawyer	0,1	pavimento	
TX2-40	0,02	pavimento-muro-soffitto	
TX2-60	0,02	pavimento-muro-soffitto	
TX2-60L	0,03	pavimento-muro-soffitto	
TX2-90	0,03	pavimento-muro-soffitto	
TX2-90L	0,035	pavimento-muro-soffitto	
TX2-90XL	0,04	pavimento-muro-soffitto	
HC10DT	0,1	pavimento-muro-soffitto-inclinato	
MotoMini	0,02	pavimento-muro-soffitto-inclinato	500
GP7	0,02		1000
GP8	0,02		1000
GP12	0,06		1500

OB7	0,1	pavimento-muro-soffitto	650
OB7-Max 12	0,1	pavimento-muro-soffitto	1000
OB7-Max 8	0,1	pavimento-muro-soffitto	1000
TM5-700	0,05		220
TM5-900	0,05		220
TM12	0,1		300
TM14	0,1		300
EVA	0,5	tavolo	280
Speedy 6	0,1	pavimento-muro-soffitto-inclinato	
Speedy 12	0,1	pavimento-muro-soffitto-inclinato	
NEXTAGE	0,03	base	
HCR-3	0,1	pavimento-muro-soffitto	
HCR-5	0,1	pavimento-muro-soffitto	
HCR-12	0,1	pavimento-muro	
AUBO-i3	0,03	pavimento-muro-soffitto	150
AUBO-i5	0,05	pavimento-muro-soffitto	200
AUBO-i7	0,05	pavimento-muro-soffitto	
AUBO-i10	0,05	pavimento-muro-soffitto	

Tabella 2.3 Confronto caratteristiche tecniche robot collaborativi

Modello cobot	Costo \$	Cleanroom	IP
IRB 14000 YuMi	\$ 40.000		30
UR3	\$ 28.000	si	64
UR3e	\$ 30.000	si	54
UR5	\$ 35.000	si	54
UR5e	\$ 37.000	si	54
UR10	\$ 40.000	si	54
UR10e	\$ 42.000	si	54
UR16e		si	54
CR-4iA	\$ 45.700		67
CR-7iA	\$ 48.000		67
CR-7iA/L	\$ 48.000		67
CR-15iA			54 (67)
CR-14iA			67
CR-35iA	\$ 87.000		54 (67)
LBR iiwa 7 R800 (CR)	\$ 70.000	si	54
LBR iiwa 14 R820	\$ 70.000		54
LBR iisy			54
Comau AURA	\$ 80.000		54
Racer 3*			54
Racer 5 0.63*			54
Racer 5 0.80*			54
Sawyer	\$ 37.000		
TX2-40		si	62 (67)

TX2-60	\$ 40.000	si	63 (67)
TX2-60L	\$ 40.000	si	64 (67)
TX2-90		si	65 (67)
TX2-90L		si	66 (67)
TX2-90XL		si	67 (67)
HC10DT	\$ 48.000		20
MotoMini		si	
GP7			54/65 (67)
GP8			54/65 (67)
GP12	\$ 20.000		54/65 (67)
OB7	\$ 35.000		61
OB7-Max 12	\$ 35.000		61
OB7-Max 8			61
TM5-700	\$ 40.000		54
TM5-900	\$ 40.000		54
TM12			54
TM14			54
EVA	\$ 2.800		20
Speedy 6	\$ 50.000		54
Speedy 12	\$ 60.000		54
NEXTAGE	\$ 70.000		
HCR-3			64
HCR-5			54
HCR-12			54
AUBO-i3			54
AUBO-i5			54
AUBO-i7			54
AUBO-i10			54

Tabella 2.4 Confronto velocità massime robot collaborativi

Modello cobot	J1 [°/s]	J2 [°/s]	J3 [°/s]	J4 [°/s]	J5 [°/s]	J6 [°/s]	J7 [°/s]	V [m/s]
IRB 14000 YuMi	180	180	180	400	400	400	180	
UR3	180	180	180	360	360	360		1
UR3e	180	180	180	360	360	360		1
UR5	180	180	180	180	180	180		1
UR5e	180	180	180	180	180	180		1
UR10	120	120	180	180	180	180		1
UR10e	120	120	180	180	180	180		1
UR16e	120	120	180	180	180	180		1
CR-4iA								1
CR-7iA								1
CR-7iA/L								1
CR-15iA								0,8
CR-14iA								0,5

CR-35iA								0,75
LBR iiwa 7 R800 (CR)	98	98	100	130	140	180	180	
LBR iiwa 14 R820	85	85	100	75	130	135	135	
LBR iisy								
Comau AURA	100	85	100	130	140	190		
Racer 3*	430	450	500	600	600	900		
Racer 5 0.63*	400	360	400	500	500	800		
Racer 5 0.80*	360	300	330	500	500	800		
Sawyer								1,5
TX2-40	555	475	585	1035	1135	1575		8,6
TX260	435	410	540	995	1065	1445		8,4
TX2-60L	435	385	500	995	1065	1445		11,1
TX2-90	400	400	430	540	475	760		10,42
TX2-90L	400	390	400	540	475	760		10,54
TX2-90XL	400	350	410	540	475	760		11,09
HC10DT	130	130	180	180	250	250		
MotoMini	315	315	420	600	600	600		
GP7	375	315	410	550	550	1000		
GP8	455	385	520	550	550	1000		
GP12	260	230	260	470	470	700		
OB7								2
OB7-Max 12								2
OB7-Max 8								2
TM5-700	180	180	180	225	225	225		
TM5-900	180	180	180	225	225	225		
TM12	120	120	180	180	180	180		
TM14	120	120	180	150	150	180		
EVA	120	120	120	120	120	120		0,75
Speedy 6	145	145	180	180	275	275		
Speedy 12	75	75	145	145	275	275		
NEXTAGE	172	133	215	263	224	300		110
HCR-3	180	180	180	180	180	180		
HCR-5	180	180	180	180	180	180		
HCR-12	130	130	200	200	200	200		
AUBO-i3	180	180	180	180	180	180	1,9	
AUBO-i5	150	150	150	180	180	180	2,8	
AUBO-i7	180	180	180	180	180	180	3,5	
AUBO-i10	180	180	180	180	180	180	4	

2.5. Riferimenti schede tecniche

Di seguito i riferimenti alle schede tecniche dei robot collaborativi presentati. Le schede tecniche sono consultabili nell'Appendice.

ABB, *IRB 14000 YuMi*, Scheda tecnica (da brochure)

Universal Robots, *cb-Series, UR3; UR5; UR10*, Scheda tecnica (da brochure)

Universal Robots, *e-Series, UR3e; UR5e; UR10e*, Scheda tecnica (da brochure)

Universal Robots, *e-Series, UR16e*, Scheda tecnica

Fanuc, *CR-4iA; CR-7iA; CR-7iA/L; CR-14iA*, Scheda tecnica

Fanuc, *CR-15iA*, Scheda tecnica

Fanuc, *CR-35iA*, Scheda tecnica

KUKA, *LBR iiwa, 7 R800 (CR); LBR iiwa 14 R820*, Scheda tecnica (da brochure)

KUKA, *LBR iisy*, Scheda tecnica (da brochure)

Comau, *AURA*, Scheda tecnica (da brochure)

Comau, *Racer 3;5-0.63; 5-0.80*, Scheda tecnica (da brochure)

Rethink Robotics, *Sawyer*, Scheda tecnica (da brochure)

Stäubli, *TX2-40; TX2-60; TX2-60L; TX2-90; TX2-90L; TX2-90XL*, Scheda tecnica (da brochure)

Yaskawa, *HC10DT*, Scheda tecnica

Yaskawa, *MotoMini*, Scheda tecnica

Yaskawa, *GP7; GP8*, Scheda tecnica

Yaskawa, *GP12*, Scheda tecnica

Productive Robotics, *OB7; OB7-Max 12; OB7-Max 8*, Scheda tecnica

Techman Robot, *TM5-700; TM5-900*, Scheda tecnica

Techman Robot, *TM12; TM14*, Scheda tecnica

Automata, *EVA*, Scheda tecnica

MABI Robotic, *Speedy 6*, Scheda tecnica (da brochure)

MABI Robotic, *Speedy 12*, Scheda tecnica (da brochure)

Kawada Robotic, *NEXTAGE*, <http://nextage.kawada.jp/en/specification/>

Hanwha Techwin, *HCR-3; HCR-5; HCR-12*

AUBO, *AUBO-i3*, Scheda tecnica (da brochure)

AUBO, *AUBO-i5*, Scheda tecnica (da brochure)

AUBO, *AUBO-i7*, Scheda tecnica (da brochure)

AUBO, *AUBO-i10*, Scheda tecnica (da brochure)

3. Progettazione dell'applicazione collaborativa

Dopo aver analizzato nei capitoli precedenti lo stato dell'arte del processo in esame e aver realizzato un'analisi dei robot collaborativi presenti sul mercato, in questo capitolo si procederà con la scelta del cobot e con la progettazione dell'applicazione collaborativa. Dopo aver imposto i parametri per scelta del robot e aver selezionato un modello specifico, si procederà con la progettazione della postazione di lavoro; in questa fase verranno selezionati gli accessori necessari alla realizzazione dell'applicazione. Seguirà quindi la programmazione del robot in un ambiente offline dedicato; verranno dunque simulate le operazioni svolte dai robot al variare delle condizioni al contorno per verificare l'adeguatezza dell'applicazione progettata. Si simulerà dunque il travaso di interi lotti di dimensioni variabili al fine di calcolare i tempi caratteristici del sistema automatizzato e valutarne l'efficienza.

3.1. Scelta del robot collaborativo

L'operazione più gravosa all'interno della postazione di lavoro è quella relativa al travaso delle paste svolta dall'operatore 2 (capitolo 1). Si vuole dunque inserire un robot che, in collaborazione con un solo operatore, porti a termine il confezionamento dei prodotti. In primo luogo, considerata la particolare geometria dello spazio di lavoro all'interno del quale il robot deve operare, si determina lo sbraccio minimo richiesto per portare a termine le operazioni di travaso. Si assume la condizione più gravosa, che prevede la presenza di un lotto da 800 litri interamente contenuto in una vasca avente diametro pari a 1150 mm e altezza pari a 800 mm. Prevedendo di posizionare il robot sopra alla vasca in configurazione capovolta a un'altezza di almeno 300 mm rispetto al bordo della vasca, è stato calcolato che lo sbraccio minimo richiesto per raggiungere un qualsiasi punto del fondo della vasca è circa 1250 mm. Si è dunque proseguito determinando il carico minimo sollevabile, per compensare una minore velocità di movimento del robot rispetto all'uomo. Si è deciso di utilizzare uno strumento che consenta il travaso di 4 kg di prodotto per volta, riducendo i movimenti svolti dall'operatore dai 4 dell'attuale procedura totalmente manuale a uno solo. Si è quindi assunto un carico pari a 4,4 kg di prodotto maggiorato di circa 2 kg per il peso dello strumento e del tool. È stato quindi fissato un payload minimo pari a 7 kg. Considerato il particolare campo di applicazione e le stringenti norme igieniche, sono stati poi esclusi tutti i robot non provvisti di certificazione cleanroom. Si riportano di seguito in tabella i parametri stabiliti.

Tabella 3.1 Parametri di selezione del Cobot

Sbraccio minimo	1250 mm
Payload minimo	7 kg
Soluzione di montaggio	soffitto
Certificazione cleanroom	si

I robot in grado di garantire tali specifiche tra quelli esaminati sono esclusivamente i modelli della Universal Robots UR10 e UR10e e il modello Stäubli TX2-90XL. La scelta è ricaduta sul cobot UR10e in quanto UR10 della Universal Robot sta per uscire dal mercato e il TX2 presenta una massa di quasi 120 kg contro i circa 30 kg dell'UR10e; una massa elevata implicherebbe una minore flessibilità e richiederebbe un livello di protezioni più elevato nello svolgimento delle operazioni a stretto contatto con l'operatore.

3.2. La postazione di lavoro

In seguito alla scelta del robot sono stati identificati gli strumenti di lavoro, in particolar modo l'utensile per il travaso, il gripper e le vasche di prodotto. Si è scelto di utilizzare un utensile afferrato da un gripper fisso in risposta ai vincoli del processo produttivo e in particolare il fatto che qualunque strumento entri in contatto con il prodotto deve essere sostituito al termine di ciascun lotto e deve essere in plastica o acciaio inossidabile. Per garantire l'integrità del prodotto è inoltre necessario che tutti gli elementi che entrano in contatto col prodotto siano facilmente lavabili e asciugabili. È poi stato disegnato un modello tridimensionale dell'ambiente di lavoro (paragrafo 3.2.4)

3.2.1. Il gripper

È stato inizialmente selezionato un gripper che rispondesse in modo adeguato alle caratteristiche dell'applicazione. La necessità di garantire una presa solida, che non permetta la rotazione relativa del mestolo, ha portato alla scelta di un gripper a ventosa. La scelta è ricaduta sul modello della Robotiq EPick Vacuum Gripper, nella sua configurazione con due ventose con un diametro di 56 mm. Questo gripper è dotato di un generatore di vuoto elettrico, non richiede dunque di essere collegato all'impianto pneumatico dello stabilimento. È stata quindi verificata l' idoneità del gripper al carico da movimentare mediante le formule presenti sul manuale tecnico. La massima forza di afferraggio può essere determinata mediante la formula seguente:



Figura 3.1 EPick vacuum gripper

$$F_p(N) = \frac{A \times P \times n}{1000}$$

Dove:

- A= Superficie interna della ventosa (mm²)
- P= Pressione assoluta (kPa)
- n= Numero delle ventose presenti

Si ricava dunque dalla tabella fornita dal produttore la pressione assoluta relativa a un livello di vuoto pari all'80%, si assume dunque $P = 81,1$ kPa. Considerando dunque il diametro interno massimo pari a 20 mm, si ottiene $F_p = 203,83$

Tabella 3.2 Forza massima di afferraggio

n	2
d	40 mm
A	1256 mm ²
P 80%	81,1 kPa
F_p	203,83 N

Deve poi essere valutata la forza necessaria a movimentare il carico. Nel caso della configurazione di questa applicazione la formula di riferimento è:

$$F_c = \frac{m}{\mu} \times (g + a) \times S$$

Dove:

- m = massa (kg)
- g = accelerazione di gravità (m/s²)
- a = Accelerazione del robot (m/s²)
- μ = Coefficiente d'attrito
- S = Coefficiente di sicurezza

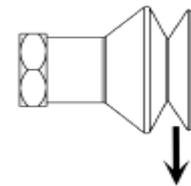


Figura 3.2 Forza applicata

Essendo in presenza di gomma su acciaio, è stato assunto un coefficiente d'attrito pari a 0,6. Si è inoltre assunto un coefficiente di sicurezza pari a 2 essendo la superficie di contatto uniforme e non porosa.

Tabella 3.3 Forza di afferraggio

$m_{caraffa}$	1	kg
m_{liq}	4,3	kg
m_{tot}	5,3	kg
g	9,81	m/s ²
a	1,2	m/s ²
S	2	coeff. sic.
μ	0,6	
F_c	194,51	N

Dal momento che la relazione $F_c < F_p$ è verificata, è possibile movimentare un carico pari 5,3 kg in tali condizioni.

3.2.2. L'utensile

È stato quindi progettato il mestolo che sarà manipolato dal robot mediante il gripper. Volendo consentire il riempimento del barattolo con un singolo movimento del robot, è stato progettato un contenitore di forma cilindrica con diametro interno pari a 160 mm e un'altezza di 220 mm, avente un volume pari a 4,4 L. Tutti gli spigoli interni sono stati raccordati per semplificare le operazioni di lavaggio e asciugatura. Il manico di cui è dotato il mestolo è posto a una distanza di 155 mm rispetto all'asse, presenta una superficie piana lunga 180 mm e larga 60 mm per favorirne l'afferraggio sia da parte del robot mediante il gripper

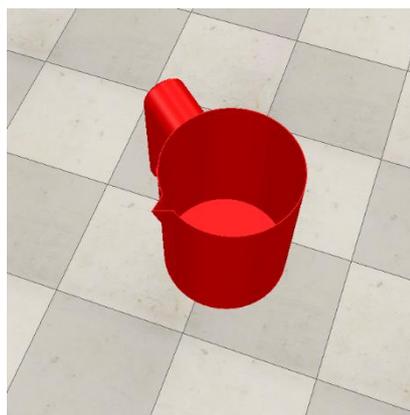


Figura 3.3 Utensile

che dell'operatore. Il mestolo, che assume una configurazione simile a quella di una caraffa, sarà dotato di un invito per favorire un versaggio preciso del prodotto all'interno dei barattoli. Per favorire il pescaggio del prodotto fondo vasca, l'invito sarà posizionato su un piano passante per l'asse della caraffa e ortogonale rispetto alla distanza compresa tra l'asse del mestolo e il manico. Il materiale selezionato è l'acciaio AISI 316, un acciaio austenitico tipicamente utilizzato in campo alimentare. È stato dunque realizzato su Solidworks 2019 un modello CAD del componente e ne è stata valuta la massa ($m = 1$ kg).

3.2.3. Le Vasche

Si è dunque proceduto con la scelta delle vasche da utilizzare all'interno della postazione. È stato deciso di adoperare, in funzione della dimensione del lotto, tre vasche differenti aventi rispettivamente una capacità di: 176 L, 523 L, 831 L. Le vasche da 523 L attualmente sono già presenti all'interno dello stabilimento, mentre le altre dovranno essere appositamente acquistate. Un primo tentativo di programmazione ha infatti rivelato che le bacinelle tronco-coniche da 159 L oggi disponibili non sono compatibili all'applicazione in quanto presentano un diametro troppo ridotto per consentire un'agile movimentazione da parte del robot nell'applicazione di travaso. Si riportano in figura le dimensioni caratteristiche delle tre vasche:

Tabella 3.4 Dimensione vasche

	Vasca P	Vasca M	Vasca G
D [mm]	800	1100	1150
h [mm]	350	550	800
V [L]	176	523	831
V_utile [L]	150	500	800

3.2.4. Modello CAD della postazione di lavoro

È stata dunque disegnata sull'ambiente CAD Solidworks la postazione di lavoro descritta al paragrafo 2.5. Per l'installazione del robot è stato previsto un supporto in acciaio a L fisso a pavimento, con un braccio lungo 700 mm. Il cobot si troverà dunque installato in configurazione capovolta a un'altezza di 1715 mm da terra. L'asse della flangia del robot sarà coincidente all'asse della Vasca G. Le vasche potranno essere posizionate un un transpallet o su degli appositi carrellini e saranno disposte a pochi millimetri dalla bilancia in modo da minimizzare la corsa del robot al di fuori del perimetro della vasca. Il piano della bilancia è disposto alla stessa altezza del piano del bancale al fine di permettere il trasferimento del barattolo pieno per scivolamento, senza richiederne dunque il sollevamento. L'ambiente di lavoro è quindi stato trasferito nell'ambiente di simulazione V-Rep che verrà utilizzato in seguito per la simulazione delle operazioni.



Figura 3.4 Postazione di lavoro. Vista A

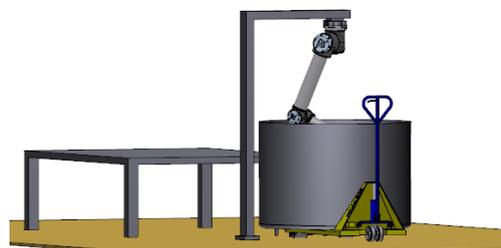


Figura 3.5 Postazione di lavoro. Vista B

3.3. Programmazione del robot

La programmazione del cobot è stata effettuata servendosi del software di simulazione offline ufficiale di Universal Robots *UR Sim 5.5.1*. Grazie a questo software open source è possibile programmare un qualunque UR all'interno di un ambiente virtuale che ricrea l'interfaccia grafica del Teach Pendant. È inoltre possibile, una volta programmati i movimenti, avviare una simulazione per verificare che i vincoli di forza e velocità imposti ai giunti e le traiettorie siano ammissibili. Sarà dunque possibile salvare il programma su una comune chiavetta USB e trasferirlo direttamente sul Teach Pendant per poter mettere in funzione il robot. Non essendo supportate le funzioni di input da parte dei sensori, all'interno del programma, sono state inserite alcune variabili che ne simulano il segnale.

3.3.1. Impostazioni iniziali

Prima di iniziare la fase di programmazione è necessario definire il carico movimentato dal cobot e la posizione del TCP (Tool Center Point: centro del punto di contatto tra gripper e utensile) rispetto a un sistema di riferimento localizzato al centro della flangia terminale del polso. La massa movimentata inizialmente è quella del gripper sommata a quella del mestolo, pari a 1,7 kg; il TCP si troverà invece sull'asse z, a una distanza di 193,3 mm dalla flangia. Si osserva che nel corso dell'operazione si ha una variazione del carico movimentato dal cobot, per cui occorre aggiornare il valore del carico movimentato

ogni qual volta il robot riempirà o svuoterà il mestolo. Questa operazione potrà essere svolta in modo discreto al raggiungimento di un punto lungo la traiettoria o, nel corso dello svuotamento del mestolo, in modo continuo utilizzando un *tread* (un programma secondario che opera parallelamente al principale) che utilizzi l'input in ingresso dalla bilancia per aggiornare il dato relativo alla massa di prodotto movimentata.

In questa fase è anche possibile aggiornare le condizioni di sicurezza mediante l'inserimento di una password prestabilita; per questo aspetto sono state mantenute le specifiche di sicurezza consigliate dal produttore. Si riporta in figura un'immagine della schermata di programmazione con i limiti di sicurezza.

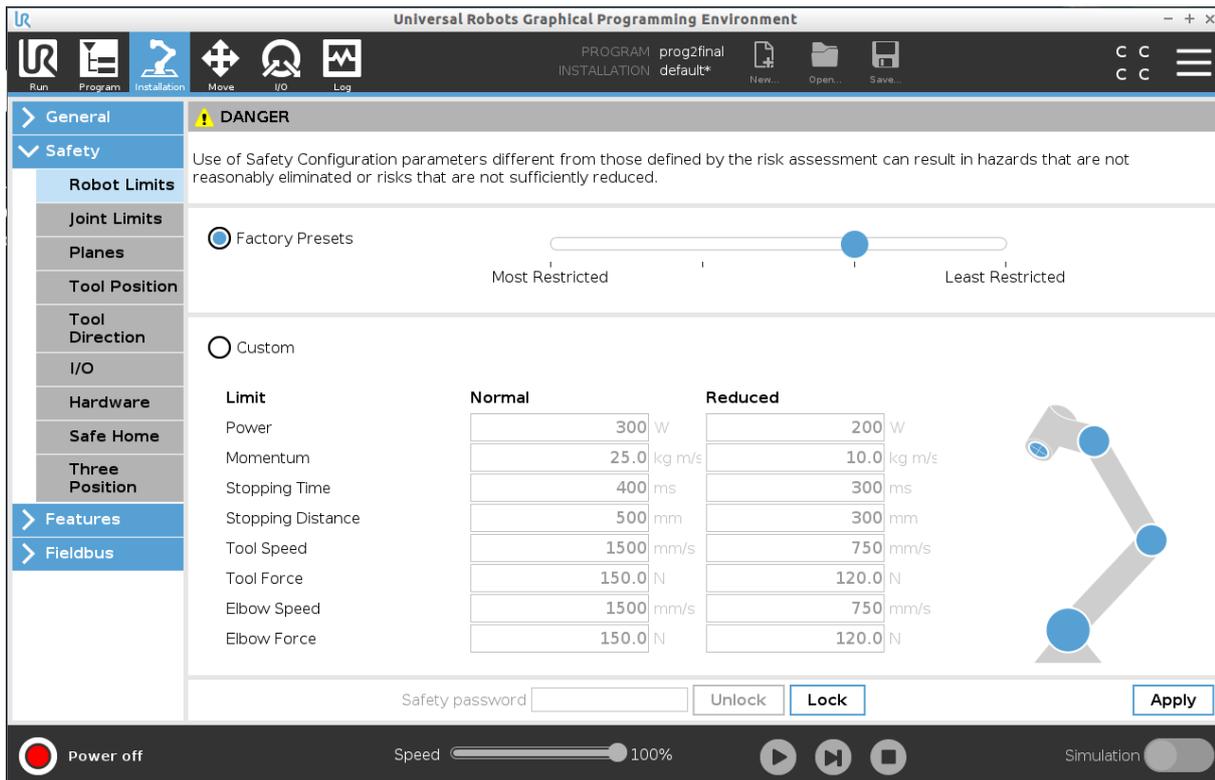


Figura 3.6 Limiti di sicurezza UR10e

3.3.3. La traiettoria del robot

Per la programmazione della traiettoria del moto si è deciso di scomporre il movimento in quattro fasi distinte al fine di gestire il più agilmente possibile la variazione della traiettoria dovuta all'abbassamento di livello del liquido. Le quattro fasi sono:

- Fase 1: discesa del robot dalla posizione iniziale fino alla posizione di immersione completa del volume utile della caraffa
- Fase 2: movimento di pescaggio del prodotto svolto in condizione di immersione nel prodotto, si conclude con l'inizio della risalita
- Fase 3: risalita fino a bordo vasca e preparazione al versaggio
- Fase 4: versaggio lento del prodotto e ritorno a posizione iniziale

I punti della traiettoria delle fasi 3 e 4 saranno fissi nel tempo; la coordinata z del punto finale della fase 1 e dei punti della fase 2 verrà invece aggiornata al termine di ogni ciclo mediante la funzione *Pose_add()*. Una volta raggiunto il valore di z tale per cui la traiettoria del mestolo risulti radente al fondo della vasca, tale traiettoria inizierà a ripetersi senza più variare. La presenza di tre vasche differenti ha richiesto la scrittura di altrettanti programmi, in ciascuno dei quali è stata definita una traiettoria differente; la struttura e la logica dei tre programmi sono invece le medesime.

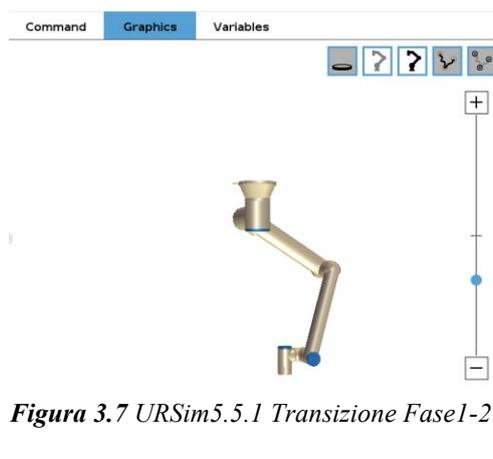


Figura 3.7 URSim5.5.1 Transizione Fase1-2

3.3.4. Il programma

Il programma di funzionamento del robot è suddiviso in 4 tipi di ciclo (ciclo 1, 2, 3, 4) che si susseguono man mano che la vasca si svuota.; il passaggio da un tipo di ciclo all'altro è comandato dal livello del liquido (*lev*) all'interno della vasca. Nel corso del ciclo 1 ($lev > 120$ mm) si verifica l'aggiornamento e la stabilizzazione della traiettoria. Nel corso del ciclo 2 ($70 < lev < 120$) e del ciclo 3 ($6 < lev < 70$) si valuta invece il degrado dell'efficienza del processo, per cui verranno gradualmente richiesti un maggior numero di pescaggi per riempire un singolo barattolo. Il ciclo 4 ($lev < 6$) è invece relativo alla fase di tarocatura in collaborazione con l'operatore.

Durante l'esecuzione del ciclo 1 si ha la massima efficienza di processo in quanto a ogni ciclo di pescaggio e versaggio corrisponde il riempimento di un barattolo; in questa fase si ha una variazione del livello costante. Ad ogni ciclo, a metà e alla fine delle operazioni di pescaggio e versaggio, viene

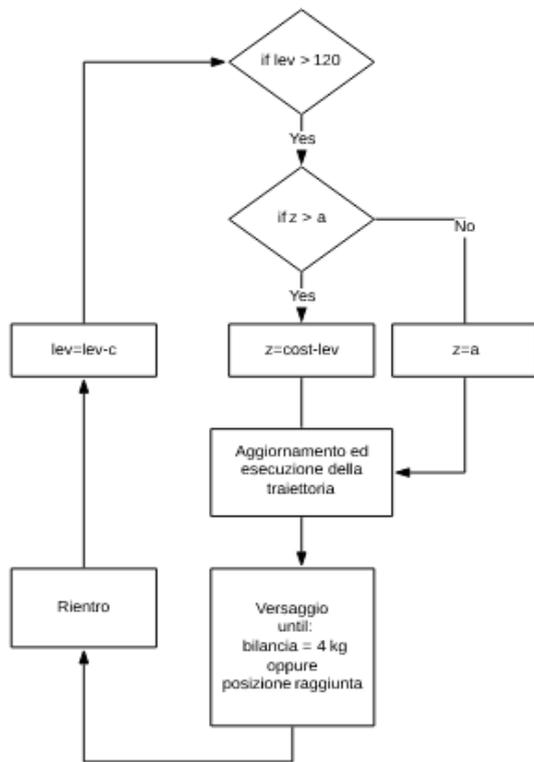


Figura 3.8 Diagramma di flusso ciclo 1

reimpostata la massa a dei valori predefiniti. Si osserva una variazione della traiettoria del ciclo fino al raggiungimento di un determinato livello di prodotto (150 mm); da tale livello in giù la traiettoria del mestolo rimarrà costante.

Una volta sceso il livello sotto ai 120 mm si inizierà a manifestare un calo dell'efficienza dell'operazione. Nel ciclo 2 si assume che il mestolo si riempia solo per 2/3; pertanto per ottenere il riempimento di due barattoli saranno necessarie tre operazioni di versaggio e due di pescaggio a cicli alterni. All'interno di ciascun ciclo la fase di versaggio inizierà esclusivamente a fronte di un segnale in ingresso dalla bilancia che indichi la presenza di un barattolo vuoto. Al completamento di ogni ciclo, inoltre, si registrerà un minore abbassamento del livello del liquido pari ai 2/3 di quello che avveniva durante il ciclo 1. Il ciclo 3 invece, sebbene mantenga

costantemente la traiettoria radente al fondo della vasca, è molto simile al ciclo 1, in quanto è prevista una sola operazione di versaggio per ogni ciclo. Si considera però, come nel caso del ciclo 2, il calo dell'efficienza dell'operazione, per cui sarà richiesto un numero di cicli sempre maggiore per il riempimento di un barattolo. Al progressivo calare del livello di liquido si ridurranno dunque sia la massa caricata nella fase di pescaggio, sia il decremento del livello di liquido, fino a raggiungere valori pari a 1/6 di quelli indicati nel ciclo 1. Al termine del ciclo 3 si attiverà dunque la modalità collaborativa, per cui il robot si disporrà a velocità ridotta in una posizione tale da favorire la tarocatura del prodotto residuo sui bordi della vasca e il successivo riempimento dell'utensile mediante l'utilizzo di una spatola da parte dell'operatore. Nel momento in cui quest'ultimo avrà completato l'operazione, sarà sufficiente allontanarsi dal robot affinché questo riprenda il suo normale funzionamento; questo ciclo si ripeterà per due volte. Si riporta in figura un diagramma di flusso semplificato del ciclo 1 come rappresentazione generale della logica di funzionamento. Si osserva che nel corso della fase di versaggio sia il completamento della traiettoria sia il segnale relativo al riempimento del barattolo inducono il ritorno del robot alla posizione iniziale.

All'interno del programma è stato utilizzato un sistema di variabili al fine di aggiornare i valori della massa manipolata e del livello del liquido, in quanto il software di simulazione offline non è predisposto alla ricezione di input da elementi esterni. Nel paragrafo 3.3.1 è già stata prospettata la possibilità di far variare la massa in funzione di un input proveniente dalla bilancia; per quanto riguarda il livello del liquido, si prevede di utilizzare l'input proveniente da un sensore di livello.

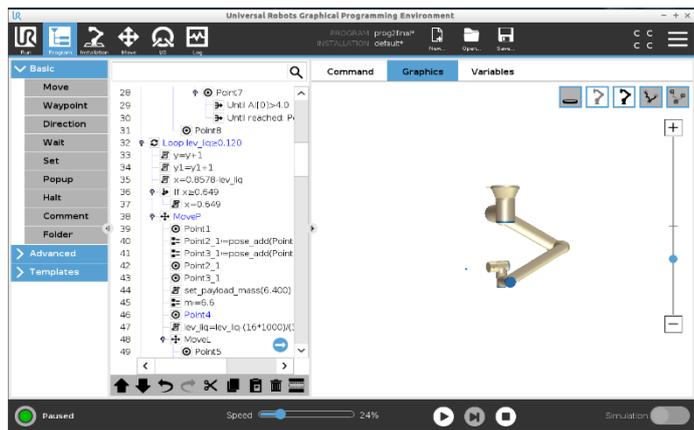


Figura 3.9 Ambiente di programmazione URSim5.5.18

3.3.5. Il sensore di livello

Ai fini dello studio è stato selezionato un sensore di livello integrabile al sistema. La scelta è ricaduta su un sensore a ultrasuoni in risposta alla necessità del sistema di avere uno strumento che non richieda il contatto con il prodotto. Si è preferito un sensore a ultrasuoni piuttosto che un misuratore laser in quanto è meno sensibile all'errore in presenza di prodotti aventi colori e densità molto diverse tra loro. È stato dunque selezionato il sensore UP 56-214-/118 prodotto da SICK e appositamente pensato per operare nell'industria alimentare. È particolarmente indicato per la misurazione di liquidi e materiali sfusi, è dotato di una risoluzione pari a 0,18 mm ed è abilitato a misurare distanze comprese tra i 350 mm e i 3400 mm. Si prevede di installare il sensore sopra alla vasca, fissandolo al supporto del robot. La scelta di questo sensore richiede però che venga fatta una verifica della tolleranza ammissibile sulla posizione del robot. Occorre infatti evitare che il robot non entri in contatto diretto con il prodotto immergendo oltre all'utensile anche il gripper o una parte del braccio, bisogna quindi accertarsi che in caso di una lettura sbagliata non si verifichi tale eventualità. Il produttore garantisce un errore di misura inferiore al 2% per cui la criticità potrebbe eventualmente verificarsi al momento del pescaggio in caso di misurazione di un livello inferiore rispetto a quello reale in quanto il robot sarebbe indotto a immergersi più del necessario. Si riporta in tabella la catena di tolleranza all'interno della quale è stato considerata un'immersione del mestolo prevista da progetto pari a 152 mm e dunque a una distanza minima tra il gripper e il prodotto pari a 83 mm. All'errore sulla misurazione sono stati aggiunti l'errore di posizionamento del robot e la tolleranza sul tool. Non sono state considerate le dimensioni della caraffa in quanto nell'esecuzione del programma non sono rilevanti al fine del posizionamento del robot. Si ritiene che il gioco minimo tra gripper e prodotto sia accettabile.



Figura 3.10 Sensore UP56 214

Tabella 3.5 Gioco minimo gripper-prodotto

h	83 mm
sensibilità UP56	2%
Distanza max misurata	1500 mm
Errore max	30 mm
Errore UR	0,05 mm
Tolleranza gripper	0,1 mm
Gioco	52,85 mm

3.3.6. Cover protettiva

La grande vicinanza tra il robot e il prodotto ha portato alla scelta di applicare al robot una cover protettiva in grado di proteggerlo da eventuali schizzi di prodotto che potrebbero generarsi. Grazie all'inserimento di tale cover sarà inoltre possibile pulire il robot nel caso in cui se ne verifichi la necessità. È stata scelta una cover prodotta da Robot-Gear in materiale plastico idoneo all'industria alimentare. Si osserva che è



Figura 3.11 Cover protettiva

possibile prevedere un'opzione di cover in grado di proteggere anche il gripper. È stato ipotizzato l'acquisto di 10 cover al fine di garantire la possibilità di cambiarle ad ogni ciclo in caso di necessità.

3.4. Simulazione dell'operazione collaborativa

Dopo aver completato il programma del robot e averne verificato il funzionamento all'interno dell'ambiente offline, si è proceduto alla verifica del funzionamento dell'applicazione all'interno dell'ambiente virtuale precedentemente disegnato. È stato quindi utilizzato un programma Matlab come interfaccia di collegamento tra URSim5.5.1 e V-Rep ed è stata realizzata una simulazione del programma per verificarne l'effettiva efficacia. È stata utilizzata la

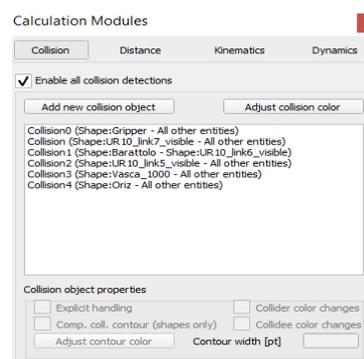


Figura 3.12 V-Rep Collision detection

funzione *Collision Detection* di V-Rep per accertarsi dell'assenza di contatti tra le parti mobili (braccio articolato, gripper, mestolo) e quelle fisse (vasca, supporto braccio articolato); si è inoltre verificato che il sistema gripper-caraffa non urtasse mai le varie parti del UR10e. La simulazione è stata effettuata per tutti i tre i programmi con i relativi scenari: vasca P, vasca M e vasca G. Si riportano di seguito immagini tratte da V-Rep rappresentanti le varie fasi dell'operazione di pescaggio. In figura 3.13 è inoltre presente una panoramica dell'ambiente di lavoro virtuale.

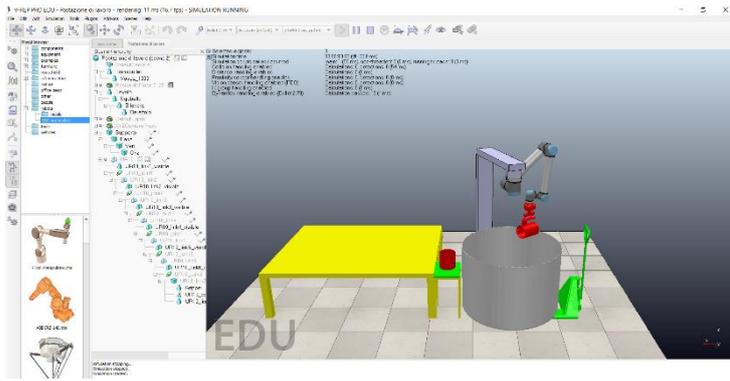


Figura 3.13 Ambiente di progettazione V-Rep: Postazione di lavoro

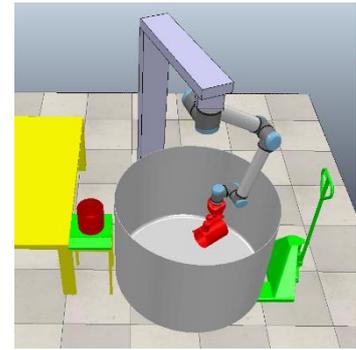


Figura 3.14 V-Rep posizione di pescaggio

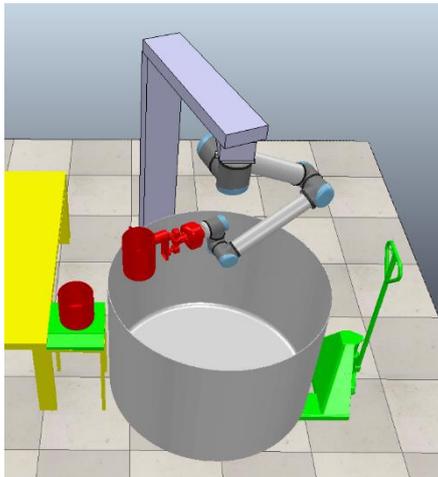


Figura 3.15 V-Rep Fine risalita

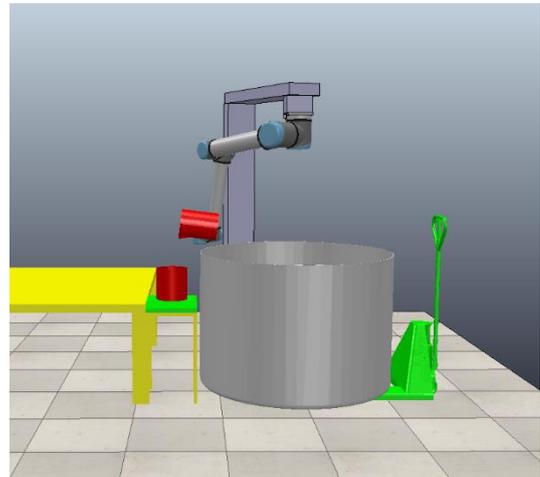


Figura 3.16 V-Rep Versaggio

3.5. Calcolo dei tempi

Dopo aver verificato l'effettiva efficacia del programma all'interno dell'ambiente virtuale posizionando dei timer e dei contatori all'interno del programma, si sono ricavati gli intervalli di tempo relativi dei primi tre cicli di ciascun programma e si sono contati i pescaggi relativi a ciascun ciclo. Queste informazioni, unite ai tempi di esecuzione degli interi programmi, hanno permesso di valutare i tempi di pescaggio in ciascuna fase del programma. Le simulazioni sono state effettuate per le vasche P-M_G in presenza di lotti rispettivamente di 120-400-800 kg. All'interno del programma è stato calcolato un abbassamento del prodotto prelevato dal mestolo allo scendere del livello del liquido al di sotto di un determinato livello. In particolare, nei primi 2 cicli è stato considerato il riempimento rispettivamente di 1 barattolo e 2/3 di barattolo. Nel ciclo 3 è invece stato previsto un drastico calo dell'efficienza al ridursi del livello passando da 1/2 di barattolo a movimento a inizio ciclo fino a raggiungere un minimo di 1/6 di barattolo a fine lotto. In figura sono stati riportati i dati raccolti al termine della simulazione del programma relativo al lotto da 400 kg posto all'interno della vasca M. I dati raccolti sono i seguenti:

- Timer0: tempo di esecuzione dell'intero programma
- Timer1/Timer2/Timer3: tempo di esecuzione dei cicli1/2/3
- y1: pescaggi nel corso del ciclo 1
- y2/3: pescaggi nel corso del ciclo 2
- y2/y3/y4/y5/y6: sono i pescaggi eseguiti nel corso del ciclo 3 al calare dell'efficienza del processo

Si riportano di seguito le tabelle con i dati relativi alle tre configurazioni di movimento

Variable	Value
Point2_1	p[-0.2619, -0.20312, 1.275, -0, -0, 0.8443]
Point3_1	p[-0.18633, -0.06488, 1.275, 0.00021, -0.00001, 0.8443]
flag	1
lev_liq	0.00798
move_thread_flag_49	2
move_thread_flag_53	2
move_thread_flag_77	2
move_thread_flag_81	2
move_thread_flag_127	2
move_thread_flag_130	2
out	0
timer_0	2331.34595
timer_1	978.84601
timer_2	248.51401
timer_3	1103.98596
x	0.4209
y	154
y1	72
y2	10
y2_3	10
y3	14
y4	14
y5	18
y6	16

Figura 3.47 Simulazione programma vasca M lotto 400 kg

Tabella 3.6 Simulazione:rielaborazione dati

	Vasca P	Vasca M	Vasca G	udm
h_max prod.	239	421	770	mm
V_utile	120	400	800	L
n° barattoli	30	100	200	
h_pieno	239	421	770	mm
V_pieno	60	286	675	L
n° barattoli	15	71	169	
n°pescaggi_1	15	72	169	
tempo pescaggio	13,47	13,57	12,28	s
h_2/3	120	120	120	mm
V_2/3	15	29	31	L
n° barattoli	4	7	8	
n°pescaggi_2/3	6	10	12	
tempo pescaggio	25,19	24,83	24,19	s
h_1/2	90	90	90	mm
V_1/2	10	19	21	L
n° barattoli_1/2	3	5	5	
n°pescaggi_1/2	5	10	10	
tempo pescaggio	14,90	14,29	15,48	s
h_1/3	70	70	70	mm
V_1/3	10	19	21	L
n° barattoli_1/3	3	5	5	
n°pescaggi_1/3	7	14	16	
tempo pescaggio	14,90	14,29	15,48	s
h_1/4	50	50	50	mm
V_1/4	8	14	16	L
n° barattoli_1/4	2	4	4	
n°pescaggi_1/4	8	14	15	
tempo pescaggio	15	14	15	s
h_1/5	35	35	35	mm
V_1/5	8	14	16	L
n° barattoli_1/5	2	4	4	
n°pescaggi_1/5	9	18	19	
tempo pescaggio	14,90	14,29	15,48	s
h_1/6	20	20	20	mm
V_1/6	10	19	21	L
n° barattoli_1/6	2	4	3	
n°pescaggi_1/6	9	23	19	
tempo pescaggio	14,90	14,29	15,48	s

Si può notare che il tempo caratteristico del ciclo 2 è decisamente più elevato rispetto agli altri in quanto prevede l'azione di doppio versaggio a cicli alterni. Si noti che il tempo caratteristico del ciclo 3 prevede anche un tempo di attesa di 3 secondi a ciclo per permettere il completo svuotamento del mestolo,

tenendo conto di una minor velocità di colata legata alla minore massa movimentata. Si sono dunque raccolti i dati complessivi di produzione di ciascuna vasca. Il tempo totale (espresso in minuti) è pari alla somma tra il tempo di lavoro effettivo e il tempo di setup imposto. Dalla tabella sottostante è possibile osservare che la portata oraria è superiore rispetto a quella manuale, che nel capitolo 1 era stata imposta pari a 300 kg/h

Tabella 3.7 Simulazione: resoconto dati

	Vasca P	Vasca M	Vasca G	udm
pescaggi_tot	59	161	260	
Tempo	910	2.347	3.589	s
Tempo setup	3	5	5	min
Tempo_tot	20	46	67	min
Prod_h	357	520	718	kg/h

3.6. Analisi tempi applicata

Si è quindi proceduto con l'applicazione dei risultati ottenuti all'intera produzione. A tal fine è stata calcolata la produzione oraria ottenibile al variare della dimensione del lotto, ed è stata confrontata alla produzione ottenibile con il metodo tradizionale. In questa fase, osservando l'influenza che ha il riempimento degli ultimi 4 barattoli sulla produzione oraria nella configurazione con la vasca P, è stata valutata la possibilità di riempire manualmente gli ultimi 4 barattoli abbattendo così i tempi totali; questa configurazione verrà nominata "Vasca P2". Nel grafico sottostante si riporta l'andamento della produzione oraria al variare della dimensione dei lotti.

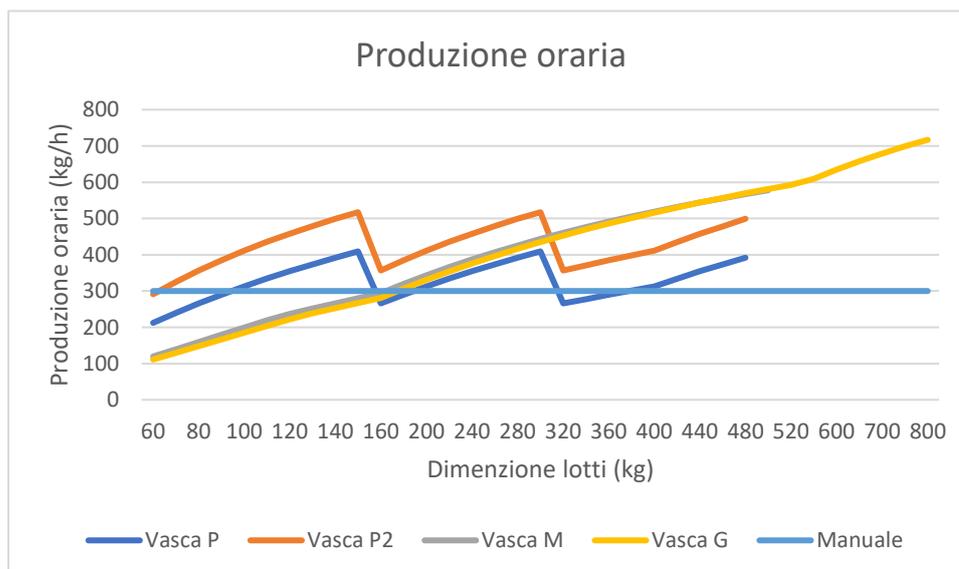


Figura 3.18 Grafico produzione oraria

È possibile osservare che per la produzione di lotti di dimensioni superiori ai 100 kg esiste sempre una produzione completamente automatizzata più conveniente rispetto a quella manuale. Si osserva inoltre che per lotti aventi dimensioni inferiori ai 300 kg il sistema di produzione più efficiente è quello ibrido, per lotti aventi dimensioni maggiori diviene invece sempre conveniente utilizzare le vasche M e G; il responsabile della produzione, occasionalmente, potrà decidere di utilizzare il sistema ibrido per aumentare l'efficienza operativa. Questa analisi è stata in un secondo momento applicata alla produzione di luglio per verificare la produzione oraria media in una condizione reale. In questa fase sono stati considerati tre possibili scenari:

- Automatizzata: considera esclusivamente le configurazioni produttive completamente automatizzate
- Ibrida: prevede l'utilizzo della soluzione ibrida per lotti aventi dimensioni inferiori ai 100kg
- Massima: considera la massima produttività oraria possibile tra manuale, automatica e ibrida.

Tabella 3.8 *Produzione media*

	Automatizzata	Ibrida	Massima	Udm
Produzione media_h	392,0636	403,6389	464,2183	kg/h
Produzione media_g	2744,445	2825,473	3249,528	kg/giorno

Si rileva per la produzione automatizzata una media oraria sostenibile superiore a quella richiesta. Tale applicazione risulta dunque ammissibile dal punto di vista dei tempi di produzione. Come accennato nel capitolo due occorrerà ora valutare la sicurezza dell'applicazione.

4. Analisi della sicurezza

Dopo aver progettato l'applicazione collaborativa ed averne verificato l'efficacia occorre accertarsi che la salute dei soggetti presenti all'interno dello stabilimento non sia messa a rischio dalla presenza del robot collaborativo. Seguendo la linea tracciata dalle norme sulla sicurezza presentate nel capitolo 2 si andrà ad effettuare un'analisi e valutazione dei rischi finalizzata all'individuazione delle misure di protezione necessarie a garantire la sicurezza dell'applicazione. Lo scopo di questa fase è di fornire gli elementi tecnici necessari a rendere i rischi legati all'applicazione sufficientemente bassi, preservando al tempo stesso la piena funzionalità delle operazioni.

4.1. Analisi e riduzione del rischio

Occorre in primo luogo soffermarsi sulla distinzione tra i termini "rischio" e "pericolo" che all'interno della normativa è espressa con chiarezza. Vengono infatti definiti i termini:

- danno: lesione fisica o danno alla salute
- pericolo: potenziale sorgente di danno
- rischio: misura della possibilità di trasformare il pericolo in danno

La nozione di pericolo assume dunque rilevanza se trattata in termini di possibilità che questo si trasformi in danno, ovvero in termini di rischio. Un ultimo elemento da tenere in considerazione è la gravità del danno che potrebbe insorgere dal pericolo. All'interno della norma UNI EN ISO 12100 viene indicata una procedura iterativa di riduzione del rischio; in figura si riporta il processo descritto nella norma.

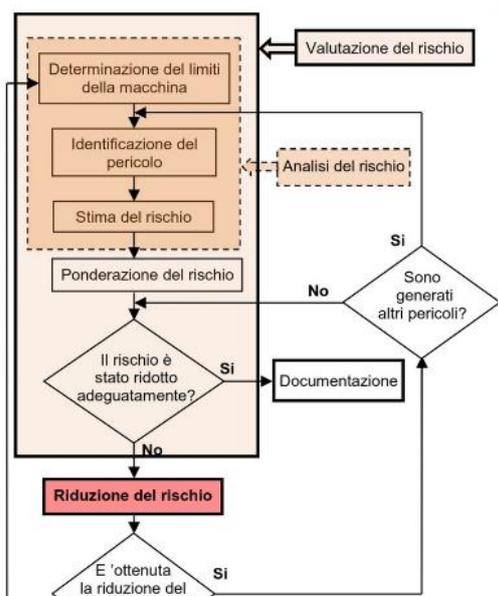


Figura 4.1 Stima e riduzione del rischio: procedura iterativa

La *determinazione dei limiti della macchina* è finalizzata all'individuazione dell'uso previsto del macchinario e dell'uso scorretto facilmente prevedibile della macchina. L'uso previsto è quello descritto nelle informazioni d'uso, quello scorretto comprende invece qualsiasi comportamento ragionevolmente prevedibile che viola i vincoli imposti dall'uso corretto.

L'*identificazione del pericolo* viene dunque condotta sulla base delle modalità di utilizzo del macchinario. Si noti che in questa fase è fondamentale considerare l'eventualità che l'utilizzatore o un secondo soggetto possano violare, per qualsiasi ragione, l'uso previsto della macchina. Si procede dunque con la *stima del rischio*, per la

quale è possibile scegliere liberamente un metodo tra i molteplici compatibili con ISO 12100; si è dunque deciso di impiegare il metodo ibrido ISO/TR 14121-2:2012 secondo lo schema proposto.

Si definisce la classe del rischio in funzione di quattro parametri: frequenza, probabilità, evitabilità e gravità.

La frequenza (Fr) con cui l'evento si presenta nel ciclo di lavoro assume valori pari a:

Tabella 4.1 *Stima del rischio: frequenza*

Fr (Frequency)	
2	L'evento si manifesta meno di una volta all'anno
3	L'evento si manifesta meno di due volte al mese
4	L'evento si manifesta meno di una volta al giorno
5	L'evento si manifesta ogni giorno
5	L'evento si manifesta almeno una volta all'ora

La probabilità (Pr) che dei guasti o un errore umano portino effettivamente alla tramutazione del pericolo in danno

Tabella 4.2 *Stima del rischio: probabilità*

Pr (Probability)	
1	Trascurabile
2	Raro
3	Possibile
4	Probabile
5	Comune

L'evitabilità (Av) misura invece la possibilità di adottare misure di protezione o allerta atte a evitare il manifestarsi dell'evento.

Tabella 4.3 *Stima del rischio: evitabilità*

Av (Avoidability)	
1	Probabile
3	Possibile
5	Impossibile

La gravità è definita dal tipo di lesione che può essere provocata al manifestarsi dell'evento. La somma dei primi tre coefficienti va a determinare la classe di rischio. Dopo aver calcolato la classe e determinato la gravità del danno, si utilizza la tabella sottostante. Le regioni verdi indicano rischi trascurabili, quelle gialle invece sono zone di potenziali criticità per cui, se ci si trova in tali condizioni, è preferibile prendere delle precauzioni al fine di ridurre la classe di rischi. Le zone rosse indicano invece una seria criticità nella sicurezza dell'applicazione, che deve obbligatoriamente essere migliorata attraverso opportune misure di sicurezza.

Tabella 4.4 Stima del rischio: determinazione della classe di rischio

		Classe $Cl = Fr + Pr + Av$				
		3-4	5-7	8-10	11-13	14-15
SE (Severity)	Lesione irreversibile (morte)					
	Lesione permanente					
	Lesione reversibile (cure mediche)					
	Lesione reversibile (pronto soccorso)					

Determinazione dei limiti della macchina

Si definiscono all'interno della postazione di lavoro tre aree differenti (figura 4.2):

- Area di lavoro manuale
- Area "tarocatura"
- Area carico scarico

L'area di lavoro manuale è l'area adibita alle operazioni regolarmente svolte dall'operatore: prelievo e sostituzione del barattolo, disposizione nella macchina per la chiusura ed etichettatura. L'area di tarocatura è invece l'area adiacente alla vasca adibita all'operazione di raschiatura del prodotto residuo sui bordi e sul fondo della vasca descritto al capitolo 2. L'operatore attenderà il completo riempimento del barattolo da parte del robot (riconoscibile grazie a un segnale acustico della bilancia); quindi procederà alla sostituzione del barattolo durante la fase di pescaggio. Dopo aver prelevato il barattolo pieno e posizionato quello vuoto sulla bilancia, controllerà non vi siano tracce di prodotto sul barattolo, pulendole eventualmente con un panno; disporrà quindi il barattolo pieno all'interno della macchina di chiusura. In questa fase l'operatore è tenuto a non uscire dall'area a lui dedicata, per cui non dovrà pulire il barattolo prima del tempo o controllarne il livello di riempimento avvicinando il viso. Si osserva che l'operatore e il robot, all'interno dello spazio condiviso, operano a due altezze differenti,

con una separazione temporale. A questa fase segue la cosiddetta “tarocatura” della vasca; il robot si posiziona in modo da favorire l’operazione di tarocatura ed entra dunque in modalità

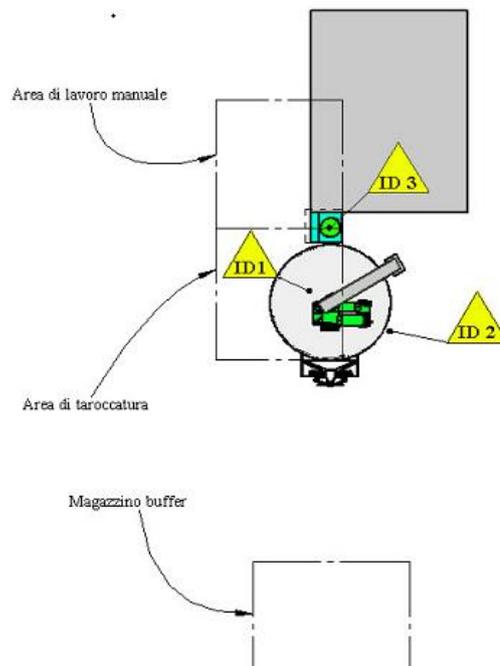


Figura 4.2 Area di lavoro

collaborativa limitando forza e velocità di movimento. L’operatore, sporgendosi all’interno della vasca, procede alla tarocatura del prodotto e al riempimento del mestolo. Completato il lavoro, sarà sufficiente che l’operatore esca dall’area di lavoro per riavviare l’operazione del robot. Si sottolinea che in nessun caso l’operatore deve procedere con le operazioni di tarocatura prima che il robot abbia terminato le operazioni di travaso automatiche. Infine, una volta per lotto, viene depositata nell’area di carico-scarico la vasca contenente il lotto successivo; in questo frangente l’operatore non deve avvicinarsi all’area di lavoro del robot.

Identificazione del pericolo

Tabella 4.5 Identificazione del pericolo

ID	Localizzazione	Personale esposto	Operazione	Scenario incidente	
				Situazione	Pericolo
1	Area di taroccatura	Operatore utilizzatore	Raschiatura del prodotto dai bordi della vasca	Attuazione delle operazioni di taroccatura prima che il robot termini l'operazione di travaso al fine di ridurre i tempi ciclo	Collisione tra il mestolo e il petto dell'operatore in presenza delle vasche P-M. Collisione tra il mestolo e il volto dell'operatore in presenza della vasca G
2	Magazzino buffer – Area di passaggio	Addetto al rifornimento della postazione di lavoro e operatore in transito	Rifornimento postazione - Passaggio occasionale	Trasporto della vasca contenente il lotto di produzione successivo con deposito troppo vicino all'area di lavoro	Idem ID 1
3	Area di scambio nella postazione manuale	Operatore Utilizzatore	Sostituzione del barattolo vuoto con il pieno	Entrata dell'operatore nell'area di lavoro del robot. Pulizia barattolo su bilancia	Collisione tra il mestolo e la testa dell'operatore.

Stima del rischio

Considerato il rischio di collisione tra una massa in movimento con una zona del corpo particolarmente delicata come è il viso, si è deciso di imporre SE=3 per tutti i pericoli analizzati.

Frequenza: si può osservare che tutti gli eventi analizzati si manifestano solitamente con una frequenza superiore al caso orario, in particolar modo nel caso ID3.

Probabilità: si deve in questo caso fare una distinzione tra i primi due casi e il terzo; se infatti i primi due casi si verificano esclusivamente in caso di errori umani legati a una condotta esplicitamente scorretta o a gravi disattenzioni, nel terzo caso l'errore umano, seppur evitabile, è possibile anche in caso di disattenzioni minori.

Evitabilità: relativamente a ID 1 e ID 2 il concretizzarsi dei rischi è facilmente evitabile; invece per quanto riguarda ID 3 l'estrema vicinanza tra l'operatore e il robot richiede una maggiore attenzione al fine di limitare la probabilità di errore

Tabella 4.6 Calcolo della classe di rischio

ID	SE	Fr	Pr	Av	CI
1	3	5	3	1	9
2	3	5	3	1	9
3	3	5	4	3	12

Si osserva che il livello di rischio risultante è estremamente elevato, per cui sarà necessario adottare opportune misure di riduzione del rischio. Nell'immagine sottostante sono riportate in rosso le zone con un livello di rischio non accettabile.

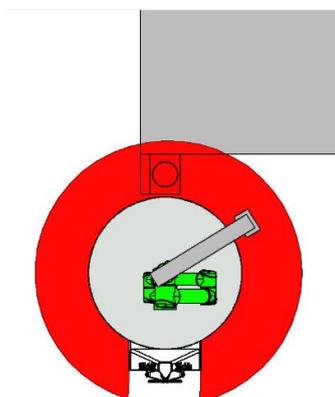


Figura 4.3 Area di lavoro: rischio elevato

4.2. Limitazione della forza e della potenza

Per ridurre il rischio, si andranno a quantificare le entità dei possibili contatti tra operatore e robot allo scopo di verificare che rientrino nei limiti imposti dalle normative; nel caso in cui non rientrassero in questi limiti sarà necessario ridurre la velocità massima del robot. Tutte le valutazioni saranno svolte sulla base delle indicazioni riportate nella specifica tecnica ISO/TS 15066. In primo luogo, è necessario definire due tipologie di contatti: “quasi-statico” e “transitorio”. Il primo viene definito come “contatto tra un operatore e una parte del sistema robotico, dove la parte del corpo dell'operatore “può rimanere bloccata tra una parte mobile del sistema robotico e un'altra parte, fissa o mobile della cella robotizzata” [11]. Il contatto viene invece definito “transitorio” quando la parte del corpo dell'operatore “non viene bloccata e può ritrarsi dalla parte in movimento del sistema robotico” [11]. Si riporta in figura l'andamento di forza e pressione riportato nella specifica tecnica; si osserva in rosso la regione di non ammissibilità, legata all'insorgenza di dolore [8]. I valori limite per ciascun contatto devono essere sempre analizzati secondo i limiti più stringenti.

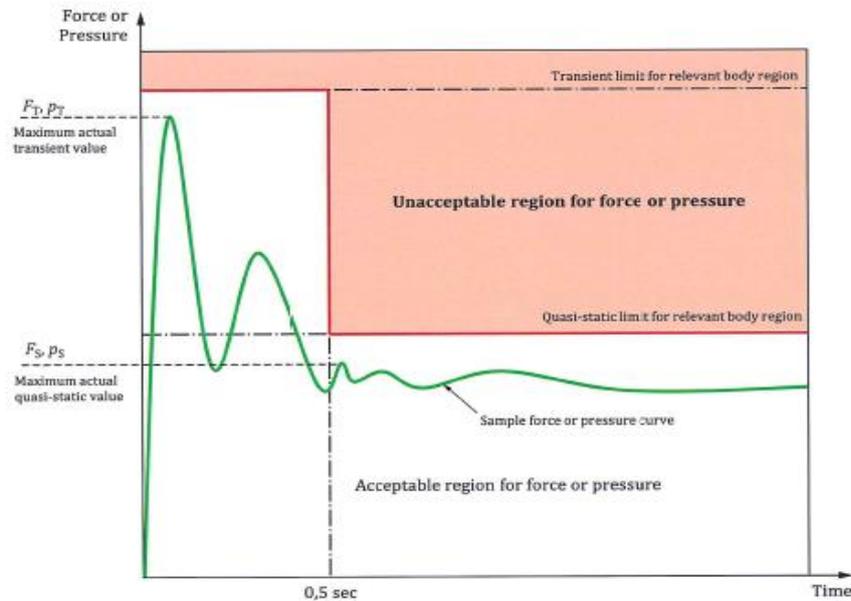


Figura 4.4 Rappresentazione grafica di forze o pressioni accettabili e non accettabili. (ISO/TC15066 Figura 4)

Ci riferiremo di seguito esclusivamente a contatti di natura transitoria in quanto non sono stati rilevati rischi relativi a contatti quasi statici. A causa della natura del contatto transitorio ad alte velocità ($v > 300 \text{ mm/s}$), la normativa non considera possibile il verificarsi di una pronta reazione da parte dell'uomo. Si presuppone che la dinamica dell'urto sia talmente veloce da richiedere preventivamente una misura di riduzione del rischio. La grandezza a dover essere limitata in questi casi è la velocità di movimento, in quanto va a influire direttamente sull'energia cinetica e sulla quantità di moto associate all'urto. Uno studio tedesco ha dimostrato che nel contatto tra un uomo e un robot collaborativi si verifica una deformazione elastica e plastica dei tessuti molli; nel caso di contatti di breve durata si ha prevalentemente una deformazione elastica dei tessuti molli in diretto contatto con la superficie del robot [28]. Al fine di ridurre il rischio di infortunio è stata sviluppata dalla normativa una tabella contenente i valori medici/biomeccanici relativi alle varie regioni del corpo. In particolare, sono state definite la costante elastica e la massa relative a ogni parte del corpo.

Ipotizzando che la maggior parte dell'energia cinetica associata all'urto si trasformi in energia di deformazione nel tessuto del corpo impattato [8], è possibile valutare inizialmente il valore della forza e della pressione massime associate a ciascun urto mediante le formule:

$$F = v_{rel} \sqrt{\mu K}$$

$$p = \frac{F}{A}$$

Dove:

- F è la forza scambiata

- μ è la massa relativa del sistema
- K è la costante elastica del corpo umano
- v_{rel} è la velocità relativa tra uomo e robot
- p è la pressione massima di contatto

Per il calcolo della massa relativa del sistema è necessario ricavare la massa efficace del robot nella configurazione dell'urto. Un calcolo approssimativo della massa efficace può essere svolto attraverso il calcolo della quantità di moto dei vari segmenti del robot [29]

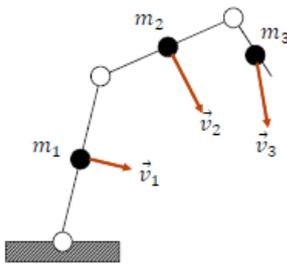


Figura 4.5 Modello robot semplificato

$$p_r = \sum_i m_i v_i$$

$$m_r = \frac{p_t v_r}{v_r^2}$$

La massa relativa del sistema sarà dunque pari a

$$\mu = \frac{1}{m_h} + \frac{1}{m_r}$$

Dove m_h rappresenta la massa della regione del corpo umano coinvolta nell'urto.

Si procederà dunque, dove possibile, al calcolo delle velocità relative massime ammissibili, imponendo il valore di forza massima e pressione massima ricavati dalla tabella; si considererà quindi la massima energia cinetica trasferibile durante il contatto transitorio e si calcolerà la velocità relativa massima ad essa associata:

$$v_{rel} = \sqrt{\frac{2E}{\mu}}$$

Body region	Maximum transferred energy
	E J
Skull and forehead	0,23
Face	0,11
Neck	0,84
Back and shoulders	2,5
Chest	1,6
Abdomen	2,4
Pelvis	2,6
Upper arms and elbow joints	1,5
Lower arms and wrist joints	1,3
Hands and fingers	0,49
Thighs and knees	1,9
Lower legs	0,52

Figura 4.6 Tabella A.4 ISO/TS15066 Energia limite

Table A.3 — Effective masses and spring constants for the body model

Body region	Effective spring constant	Effective mass
	K N/mm	m_H kg
Skull and forehead	150	4,4
Face	75	4,4
Neck	50	1,2
Back and shoulders	35	40
Chest	25	40
Abdomen	10	40
Pelvis	25	40
Upper arms and elbow joints	30	3
Lower arms and wrist joints	40	2
Hands and fingers	75	0,6
Thighs and knees	50	75
Lower legs	60	75

NOTE Mass values for thighs, knees and lower legs are set to the full body weight, since these body parts are not free to recoil or retract from impact while the operator is standing.

Figura 4.7 ISO/TS 15066 Masse e costanti elastiche del corpo umano

Si assumerà quindi come massimo valore ammissibile della velocità il minimo tra quelli i calcolati [30] Nella fase di calcolo per i primi due scenari di pericolo identificati è stata considerata separatamente la possibilità di urto con il torace, condizione più stringente negli scenari con le vasche P ed M, e la possibilità di urto con il viso dell'operatore, condizione più stringente nello scenario con la vasca G. Si riportano di seguito i valori limite indicati sulla normativa. Si noti che, per quanto riguarda la testa, non sono presenti dati relativi a forza e pressione nei contatti transitori. Ciò è dovuto alle condizioni di prova necessarie a ricavare tali dati che, essendo dipendenti dalla percezione del dolore, devono necessariamente essere ottenuti con test diretti sull'uomo. Non è stato dunque possibile stabilire tali parametri biomeccanici in quanto il test sarebbe risultato eccessivamente pericoloso.

Body region	Specific body area		Quasi-static contact		Transient contact	
			Maximum permissible pressure ^a P_s N/cm ²	Maximum permissible force ^b N	Maximum permissible pressure multiplier ^c P_T	Maximum permissible force multiplier ^c F_T
Skull and forehead ^d	1	Middle of forehead	130	130	not applicable	not applicable
	2	Temple	110		not applicable	not applicable
Face ^d	3	Masticatory muscle	110	65	not applicable	not applicable
Neck	4	Neck muscle	140	150	2	2
	5	Seventh neck muscle	210		2	
Back and shoulders	6	Shoulder joint	160	210	2	2
	7	Fifth lumbar vertebra	210		2	
Chest	8	Sternum	120	140	2	2
	9	Pectoral muscle	170		2	
Abdomen	10	Abdominal muscle	140	110	2	2
Pelvis	11	Pelvic bone	210	180	2	2
Upper arms and elbow joints	12	Deltoid muscle	190	150	2	2
	13	Humerus	220		2	
Lower arms and wrist joints	14	Radial bone	190	160	2	2
	15	Forearm muscle	180		2	
	16	Arm nerve	180		2	

Figura 4.8 Tabella A.4 ISO/TS15066 Limiti biomeccanici

In questo studio si farà riferimento ai limiti di forza (Ft) pressione (Pt) ed energia (E) relativi al busto e al volto nel caso di un contatto transitorio, si riportano in tabella i valori ricavati dalla normativa

Tabella 4.7 Limiti biomeccanici ISO/TS15066

	Chest	Face
Ft	280	N/A
Pt	240	N/A
E	1,6	0,11

4.2.1. Pericolo ID 1

Si riportano in tabella i dati relativi alla configurazione del robot al momento della collisione

Tabella 4.8 Pericolo ID 1: Dati configurazione urto

	Vasca G	Vasca M	Vasca P
Parte del corpo	Faccia	Sterno	Sterno
v_rel		750	750
m_r		16,72	8,79
m_h		4,40	40
μ		3,48	7,21
K		75	25
Superficie		2,54	2,54

Si osserva, che la configurazione del braccio articolato al momento dell'urto con l'operatore avrebbe una massa relativa inferiore nel caso delle vasche M e P, ciò è dovuto dal differente posizionamento degli assi e dalla direzione delle velocità. In questa prima configurazione si è considerato l'operatore fermo, per cui la velocità relativa considerata risulta pari a quella del robot. Si sono quindi valutate le forze e l'energia scambiate al momento dell'urto. Essendo i valori ottenuti per le vasche G ed M superiori a quelli limite indicati dalla specifica tecnica, si è proceduto con il calcolo delle velocità massime di sicurezza al fine di ridurre l'energia associata all'impatto.

Tabella 4.9 Pericolo ID 1: Forze ed energie scambiate

	Vasca G	Vasca M	Vasca P
F	N/A	318,3	212,2
p	N/A	125,1	83,4
E	0,98	2,0	0,9

Si osserva che, come era prevedibile, in caso di urto con il torace sarà necessario rallentare il robot esclusivamente nel caso della Vasca M; in quanto in presenza della vasca P la forza associata all'urto è

inferiore al valore limite Ft. Sarà inoltre necessaria una riduzione della velocità in presenza della vasca G. Si riportano di seguito i valori limite della velocità nelle tre configurazioni, come era prevedibile la velocità massima in presenza della vasca P è superiore a quella di esercizio.

Tabella 4.10 Pericolo ID 1: Velocità massime

	Vasca G	Vasca M	Vasca P	
V(F)	N/A	659,7	659,7	mm/s
V(p)	N/A	1438,9	1438,9	mm/s
V(E)	251,31	666,4	666,4	mm/s
Vmax	251,31	659,7	659,7	mm/s

4.2.2. Pericolo ID 2

Si riporta la tabella con i dati relativi alla configurazione dell'urto

Tabella 4.11 Pericolo ID 2: Dati configurazione urto

	Vasca G	Vasca M	Vasca P	
Parte del corpo	Faccia	Sterno	Sterno	
v_rel	1750	1750	1500	mm/s
m_r	25,66	25,66	25,66	kg
m_h	4,40	40	40	kg
m	3,76	15,63	15,63	kg
K	75	25	25	N/mm
Superficie	2,54	2,54	2,54	cm ²

In questa situazione è stata considerata l'eventualità di un uomo in movimento che si scontra con il robot; per ottenere la velocità relativa è dunque stata sommata alla velocità del robot quella dell'operatore, assunta pari a 1000 mm/s.

Tabella 4.12 Pericolo ID 2: Forze ed energie scambiate

	Vasca G	Vasca M	Vasca P	
F	N/A	1094,0	937,7	N
P	N/A	429,9	368,5	N
E	5,75	23,9	17,6	J

Dall'analisi risulta che le forze e le energie di contatto in tale situazione sarebbero notevolmente più alte rispetto a quelle permesse. Si calcolano dunque le velocità massime.

Tabella 4.13 Pericolo ID 2: Velocità massime

	Vasca G	Vasca M	Vasca P
V(F)	N/A	447,9	447,9 mm/s
V(P)	N/A	976,9	976,9 mm/s
V(E)	242,0	452,4	452,4 mm/s
Vmax	242,0	452,4	452,4 mm/s

In tale configurazione si osserva che la violenza dell'urto sarebbe causata al contempo dal movimento troppo veloce del robot e dalla velocità dell'operatore, per cui sarebbe necessario arrestare il robot per garantire la massima sicurezza dell'operatore.

4.2.3. Pericolo ID 3

Si riporta infine la tabella dei dati relativi all'ultimo scenario di pericolo individuato. In questa situazione il robot si comporterebbe sempre allo stesso modo, per cui non è necessario fare alcuna distinzione.

Tabella 4.14 Pericolo ID 3: Dati configurazione urto

G-M-P	
Parte de corpo	Faccia
v_rel	100 mm/s
m_r	16,04 kg
m_h	4,40 kg
m	3,45 kg
K	25 N/mm
Superficie	2,54 cm ²

In tale situazione è presente esclusivamente il rischio di urto con il volto, per cui è sufficiente valutare l'energia cinetica legata alla collisione. In questo scenario, trovandosi l'operatore fermo accanto al robot, è stata considerata esclusivamente la velocità di movimento di quest'ultimo. È possibile osservare che la velocità di movimento del robot è sufficientemente ridotta, per cui si può affermare che il pericolo precedentemente identificato non sussista.

Tabella 4.15 Pericolo ID 3: Dati collisione

E	0,017264 J
Vmax	252,4186 mm/s

4.2.4. Conclusioni

Sarà necessario implementare un sistema di sicurezza per controllare la modalità collaborativa mediante limitazione di forza e potenza (PLF) in quanto i pericoli ID1 e ID2 presentati al paragrafo 4.1 necessitano

di una riduzione della potenza al fine di consentire la condivisione dello spazio di lavoro. Operando il robot in assenza di barriere fisiche sarà dunque necessario ridurre la velocità dei movimenti ogni qual volta una persona entri all'interno del campo di lavoro del robot.

Prima di procedere all'applicazione delle misure di sicurezza, si vuole evidenziare che la velocità massima in caso di collisione con il viso dell'operatore è sempre inferiore ai 300 mm/s, velocità al di sotto della quale il movimento viene definito lento. Al di sotto di tale valore si osserva infatti un abbattimento dell'energia cinetica scambiata durante l'urto; il contatto infatti non viene più considerato impulsivo.

4.3. Calcolo della distanza minima

Il monitoraggio della separazione e della velocità è stato definito all'interno della norma EN ISO 10218-2, ma è stata ripresa e specificata all'interno di ISO/TS 15066, e serve a stabilire la distanza minima da mantenere qualora l'operatore occupi lo spazio collaborativo. All'interno dell'applicazione progettata occorre valutare il mantenimento di tale distanza per l'area compresa tra la vasca e il magazzino buffer. Tale zona infatti è priva di qualsiasi protezione e un soggetto esterno alla postazione potrebbe transitare vicino alla vasca e dunque al robot. Occorre dunque valutare la distanza di sicurezza da garantire tra uomo e robot. Nelle altre aree adiacenti il problema non sussiste in quanto il robot rimane sempre all'interno del perimetro della vasca. La distanza minima sarà proporzionale alla velocità relativa tra l'operatore e il robot; quando la distanza reale scenderà al di sotto di quella minima, il robot dovrà fermarsi istantaneamente. È possibile calcolare la distanza minima come segue:

$$S_p = S_h + S_r + S_s + C + Z_d + Z_r$$

Dove

- S_p è la distanza di sicurezza minima
- S_h è il contributo legato alla distanza percorsa dall'operatore
- S_r è il contributo legato al tempo di reazione del sistema
- S_s è il contributo legato al tempo di arresto del robot
- C è la distanza di intrusione : ovvero lo spazio che può percorrere una parte del corpo prima di essere rilevata.
- Z_d è l'incertezza sulla misura del sistema di rilevazione
- Z_r è l'incertezza sulla misura della posizione del robot

Per il calcolo della distanza percorsa dall'operatore, essendo i tempi di arresto estremamente rapidi e non essendo dunque possibile una reazione dell'operatore, si considera una velocità di avanzamento pari a 1,6 m/s. La formula diventa dunque

$$S_h = 3,6 \times (T_s + T_r)$$

Dove

- T_s è il tempo di arresto del robot
- T_r è il tempo di reazione del sistema

Si considera un tempo di arresto pari a 300 ms come indicato dal produttore; il tempo di reazione è invece pari alla somma della latenza della catena di misura (80 ms) e della latenza del sistema robotizzato (20 ms) e risulta quindi pari a 100 ms. Si ottiene dunque $S_h = 640 \text{ mm}$

Il contributo legato al tempo di reazione del robot sistema corrisponde allo spazio percorso dal robot prima dell'attivazione della funzionalità di sicurezza ed è pari al prodotto tra la velocità del robot e il tempo di arresto del sistema: si ottiene a $S_r = v_r \times T_r = 75 \text{ mm}$.

Il contributo legato al tempo di arresto del robot considera invece il moto accelerato nell'intervallo di tempo T_s , si ottiene dunque $S_s = 112,5$

La distanza di intrusione da utilizzare in presenza di un dispositivo di sicurezza posto all'altezza delle gambe è invece pari a 850 mm.

Si considera infine l'incertezza sul posizionamento del robot trascurabile e quella sul sistema di misura pari a 50 mm come dichiarato dal produttore del laser scanner.

Si riporta di seguito il riepilogo dei parametri calcolati seguito dalla distanza minima risultante.

Tabella 4.16 *Calcolo distanza minima di sicurezza*

Tr	100 ms
Ts	300 ms
vr	750 mm/s
vh	1600 mm/s
Sh	640 mm
Sr	75 mm
Ss	112,5 mm
C	850 mm
Zd	50 mm
Zr	-
Sp	1727,5 mm

Per garantire la sicurezza dell'area sarà dunque necessario l'arresto del robot ogni qualvolta qualcuno si avvicini a una distanza inferiore a 1,73 m dal bordo della vasca.

4.4. Dispositivi per la sicurezza della postazione

È stato deciso di montare una barriera di protezione a griglia fissa tra il bancale e il supporto, in modo da impedire l'accesso all'area adiacente. Si è scelta una protezione a griglia per impedire il passaggio delle mani, che potrebbero accidentalmente urtare il robot. Si disporranno inoltre 2 laser scanner a un'altezza di 300 mm dal suolo intorno alla postazione della vasca.



Figura 4.9 S300 Mini Standard

L'inserimento di due scanner posizionati in figura 4.10 garantirà infatti la completa scansione dell'area adiacente alla vasca. Il laser scanner selezionato è il modello S300 Mini Standard, prodotto e venduto da SICK Sensor Intelligence. Il sensore garantisce la protezione di un campo di raggio pari a 3 m, con un'ampiezza pari a 270°, e consente di attivare un campo di allerta fino a 8 m di distanza. La risoluzione può essere configurata in funzione dell'applicazione e della distanza di rilevamento in un range compreso tra i 30 mm e i 150 mm; nel caso di rilievo gambe a media-lunga distanza la minima risoluzione impostabile è pari a 50 mm. Si registra infine un tempo di risposta alla rilevazione pari a 80 ms. In figura si riporta un'immagine dell'area di lavoro con annesse le zone di allerta del robot controllate mediante laser scanner. In figura 4.10 è possibile osservare l'area di sicurezza scansionata dai due laser scanner, ogni qual volta verrà rilevato un movimento all'interno dell'area rappresentata in rosso sarà eseguito un arresto di sicurezza.

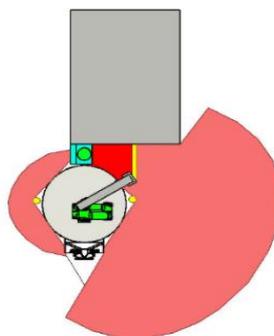


Figura 4.10 Aree di sicurezza

4.5. Misure di sicurezza attuate

Di seguito si tratterà un resoconto delle misure di riduzione del rischio attuate per ciascuno dei pericoli identificati.

Tabella 4.17 Misure di sicurezza

ID 1	Urto con il robot durante lo svolgimento delle operazioni di taroccatura
Misure di sicurezza	<ul style="list-style-type: none"> • Adeguato addestramento del personale al fine di prevenire lo svolgimento anticipato delle operazioni di taroccatura. • Segnaletica orizzontale per individuare le aree interdette all'operatore quando il robot non opera in modalità collaborativo. • Barriera a griglia tra il bancone e il supporto del robot al fine di impedire l'accesso alla vasca attraverso a quel passaggio. • Laser scanner sull'intero perimetro della vasca per Limitazione di Forza e Potenza (PFL) in caso di rilievo a meno di 400 mm dalla vasca.
Rischi residui	Nessuno
ID 2	Urto con il robot accidentale durante il passaggio all'interno della postazione di lavoro
Misure di sicurezza	<ul style="list-style-type: none"> • Adeguato addestramento del personale di reparto sui comportamenti da tenere nei pressi della postazione. • Segnaletica orizzontale per individuare più facilmente l'area di allerta del robot. • Barriera a griglia (idem ID 1). • Laser scanner per Monitoraggio della Separazione e della Velocità (SSM) nell'area identificata in figura.
Rischi residui	Nessuno
ID 3	Urto con il robot in fase di riempimento barattoli
Misure di sicurezza	<ul style="list-style-type: none"> • In seguito allo studio relativo alla limitazione della forza e della potenza del robot è emerso che l'applicazione non rappresenta un rischio significativo per l'operatore. Si suggerisce ugualmente un adeguato addestramento al fine di ridurre al minimo qualsiasi contatto non programmato con il braccio robotico.
Rischi residui	Nessuno

In seguito alle misure attuate, l'applicazione può essere considerata sicura. Occorrerà ora effettuare un'analisi economica dell'investimento per valutarne la convenienza.

5. Valutazione economica dell'investimento

Dopo aver verificato l'applicabilità del sistema robotizzato al processo di confezionamento dei prodotti e aver stabilito le misure di sicurezza necessarie alla messa in opera del sistema automatico, occorre valutare l'entità dell'investimento da affrontare al netto dei benefici economici che può apportare al sistema produttivo. L'investimento iniziale che l'azienda è chiamata ad affrontare riguarda:

- l'ingegnerizzazione del processo
- il robot collaborativo UR10e
- gli accessori del robot (gripper, cover protettiva)
- il sensore di livello
- i dispositivi di sicurezza
- le vasche per il prodotto

Negli anni successivi all'acquisto, a parità di produzione, è però prevista una variazione nei flussi di cassa. Si verificherà infatti una riduzione degli scarti del 100% rispetto alla produzione attuale, in quanto gli scarti legati alla produzione robotizzata sono equiparabili a quelli della produzione manuale, ma l'automazione della postazione permetterebbe di eliminare completamente le pompe, che attualmente sono l'unica fonte di scarto. In caso di produzione costante sarà inoltre possibile ridurre il numero di operatori in postazione, garantendo un altro notevole risparmio.

Si riportano di seguito in tabella i costi fissi relativi all'investimento.

Tabella 5.1 Valutazione dell'investimento iniziale

	Prezzo	Numerosità	Investimento
UR10e	38.000 €	1	38.000 €
Supporto	500 €	1	500 €
Cover	35 €	10	350 €
Gripper	4.100 €	1	4.100 €
Sensore	600 €	1	600 €
Laser scanner	2.500 €	2	5.000 €
Vasche	8.000 €	1	8.000 €
Ingegnerizzazione	15.000 €	1	15.000 €
Installazione e training	15.000 €	1	15.000 €
Totale			86.550 €

A fronte di un investimento di 86.550 € si otterrebbe una variazione consistente dei costi variabili rispetto alla situazione attuale. Si riportano di seguito, insieme ai costi del nuovo sistema di produzione, i costi variabili relativi alla situazione attuale calcolati al paragrafo 3.3.

Tabella 5.2 Costi variabili

	Produzione automatizzata			Produzione attuale		
	Prezzo	Quantità	Costo	Prezzo	Quantità	Costo
Scarti	7,30 €	0,00 €	0,00 €	8,6	192	8.302 €
Personale	30.000,00 €	1,00 €	30.000,00 €	30.000 €	2	60.000 €

I dati relativi ai costi dell'investimento sono stati riportati nel grafico sottostante. Dal confronto con i costi relativi al sistema di produzione a pompa e a quelli relativi alla produzione attuale, è possibile osservare la notevole convenienza di questo investimento rispetto a quello precedentemente illustrato. A fronte di un investimento iniziale comparabile, sarebbero previsti costi di produzione estremamente inferiori. L'abbattimento dei costi di produzione porterebbe inoltre un guadagno anche rispetto all'attuale sistema di produzione entro i 26 mesi.

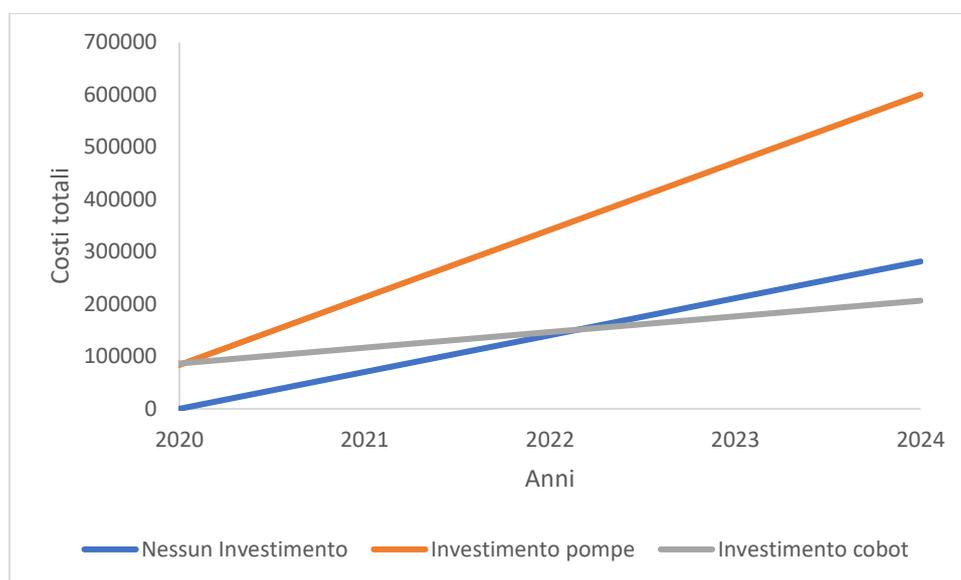


Figura 5.1 Grafico comparativo investimenti

Conclusioni

Lo studio è stato impostato per rispondere alla necessità dell'azienda di variare il metodo di produzione al fine di rientrare nei parametri per la salute e la sicurezza sul lavoro fissati nel D.Lgs. 81/08. In seguito alle analisi effettuate è stato dimostrato che la natura estremamente variabile della produzione, in termini di volumi e varietà, rende l'operazione di confezionamento non idonea a un sistema produttivo rigido come è stato dimostrato essere quello a pompa. È invece stata riscontrata un'ottima applicabilità per un sistema flessibile come un robot collaborativo. Dai calcoli e dalle simulazioni svolte è emersa la possibilità di realizzare l'applicazione robotizzata, garantendo un buon margine per quanto riguarda l'aumento della produttività e la riduzione degli scarti di lavorazione, e garantendo al tempo stesso il superamento delle criticità relative all'ergonomia attualmente presenti. È inoltre stata realizzata la messa in sicurezza del sistema produttivo.

Spetterà dunque all'azienda valutare la possibilità di implementare il progetto di automazione del processo proposto.

Bibliografia e sitografia

- [1] <https://industriaalimentare.wordpress.com/origini-e-sviluppo-dell%E2%80%99industria-alimentare/>
- [2] Caroli M., Brunetta F., Valentino A. (2019), *L'industria alimentare in Italia: Sfide, traiettorie strategiche e politiche di sviluppo*, Federalimentare.
- [3] Moresi M., Masi P., Massini R. (2008), *Industria alimentare italiana: quali prospettive di ricerca e sviluppo?*, Società Italiana di Scienze e Tecnologie Alimentari (SISTAL).
- [4] Oberc H., Prinz C., Glogowski P., et al. (2019), *Human Robot Interaction – learning how to integrate collaborative robots into manual assembly lines*, Procedia Manufacturing.
- [5] Colgate J.E., Wannasuphprasit W., Peshkin M.A. (1996), *Cobots: robots for collaboration with human operators*, Computer Science.
- [6] Colgate J.E., Peshkin M.A. (1999), *Cobots*, United States Patent number: 5,952,796.
- [7] Silverman R.E. (2000), *The Words of Tomorrow*, The Wall Street Journal.
- [8] Vicentini F. (2017), *La robotica collaborativa. Sicurezza e flessibilità delle nuove forme di collaborazione uomo-robot*, Tecniche Nuove.
- [9] Linsinger, et al. (2018), *Task-based Potential Analysis for Human-Robot Collaboration within Assembly Systems*, Springer.
- [10] Direttiva Macchine MD 2006/42/EC
- [11] Technical Specification ISO/TS 15066:2016, *Robots and robotic devices – Collaborative robots*.
- [12] Sharma A. (2018), *The Future of Collaborative Robots*, Interact Analysis.
- [13] <https://new.abb.com/products/robotics/it/robot-industriali/yumi>
- [14] <https://www.universal-robots.com/products/>
- [15] <https://www.fanuc.eu/it/it/robot/robot-filter-page/robot-collaborativi>
- [16] <https://www.kuka.com/it-it/prodotti-servizi/sistemi-robot/robot-industriali/lbr-iiwa>
- [17] <https://www.comau.com/it/le-nostre-competenze/robotics/automation-products/collaborativerobot-saura>
- [18] <https://www.rethinkrobotics.com/sawyer>
- [19] <https://www.staubli.com/en-us/robotics/product-range/6-axis-scara-picker-industrial-robots/6-axis-robots/>
- [20] <https://smart.motoman.com/it-it/products/robots>
- [21] <https://www.productiverobotics.com/ob7-cobot>
- [22] <https://tm-robot.com/en/>
- [23] <https://automata.tech/>
- [24] <https://www.mabi-robotic.com/robotic/robotic-arm/>
- [25] <http://nextage.kawada.jp/en/specification/#specHontaiTable>
- [26] <https://www.hanwharobotics.com/En/Product/lineup>
- [27] <https://aubo-robotics.com/about-and-mission/>

- [28] Falco J., Marvel J., Norcross R. (2012), *Collaborative Robotics: Measuring Blunt Force Impacts on Humans*, Proceedings of the 7th International Conference on the Safety of Industrial Automated Systems. 186-191,
- [29] Björn M. (2015), *New safety standards for collaborative robots, ABB YuMi® dual-arm robot*, Workshop IROS 2015
- [30] Rosenstrauch M.J. (2017), *Safe Human-Robot-Collaboration-Introduction and Experiment Using ISO/TS 15066*, 3rd International Conference on Control, Automation and Robotics

APPENDICE

Si tratta di una rivoluzionaria combinazione di velocità, agilità e capacità sensoriale che assicura la sicurezza delle persone che lavorano assieme ai robot nelle celle e linee di produzione.

Innovazione tecnologica di progetto

Oltre ad essere il leader globale nella produzione di robot industriali, ABB Robotics sviluppa software e produce hardware, dispositivi periferici, attrezzature di processo e celle di produzione modulari. Questo concetto di “soluzione a tutto tondo” è evidente nel progetto d’avanguardia di YuMi.

Anche se progettato specificatamente per il settore dell’elettronica, YuMi è perfetto anche per altri ambienti con piccoli componenti, ad esempio la produzione di orologi, giocattoli e componenti per il settore automotive. Questi mercati di sbocco sono cambiati più velocemente rispetto ai miglioramenti di processo che essi stessi richiedono. Almeno fino ad oggi.

Caratteristiche principali

- Il controller IRC5 integrato di quinta generazione, con tecnologia di controllo del movimento TrueMove e QuickMove™, controlla la precisione, la velocità, i tempi di ciclo, la programmabilità e la sincronizzazione con dispositivi esterni.
- Le interfacce I/O comprendono IP Ethernet, Profibus, porte USB, DeviceNet™, porta di comunicazione, arresto di emergenza e alimentazione pneumatica mani. YuMi accetta una vasta gamma di dispositivi di interfaccia uomo-macchina (HMI), compresi teach pendant ABB, schermi industriali, e i tablet e gli smartphone reperibili in commercio.
- L’alimentazione da 100-240 volt è adatta ad ogni presa, per una versatilità di uso in tutto il mondo.

Benefici

- Altissima efficacia di lavoro sia fianco a fianco che di fronte a collaboratori umani;
- Dispositivi di presa servo assistiti (le “mani”) con possibilità di videocamere integrate;
- Algoritmi per impostazione in tempo reale di percorsi privi di impatti per ogni braccio a seconda dell’attività richiesta;
- Imbottitura a protezione dei lavoratori in zone ad alto rischio con assorbimento della forza in caso di contatto;
- In caso di impatto imprevisto del robot con un oggetto (anche in caso di contatto lieve con un collaboratore) il robot è in grado di interrompere il movimento entro pochi millisecondi. Riattivarlo sarà semplice come premere “play” sul telecomando;
- Eliminazione, o riduzione a livelli accettabili, delle zone di rischio tra parti in movimento e tra parti fisse e in movimento.

Specifiche

Versione Robot	Sbraccio	Capacità di carico	Carico sul braccio
IRB 14000-5/0.5	500 mm	500 g	Nessun carico su braccio

Caratteristiche

Alimentazione e segnale integrato	24V Ethernet or 4 Segnali
Alimentazione aria	per braccio su flangia strumento (4 Bar)
Ethernet integrata	100/10 Base TX porta/per braccio
Ripetibilità posizione	0.02
Montaggio robot	Tavolo
Grado di protezione	IP30
Controller	Integrati

Specifiche di sicurezza

Sicurezza funzionale	PL b Cat B
----------------------	------------

Movimento

Movimento assi	Area di lavoro	Velocità massima
Asse 1 rotazione	da -168,5° a 168,5°	180°/s
Asse 2 braccio	da -143,5° a 43,5°	180°/s
Asse 3 braccio	da -123,5° a 80,0°	180°/s
Asse 4 polso	da -290,0° a 290,0°	400°/s
Asse 5 piega	da -88,0° a 138,0°	400°/s
Asse 6 giro	da -229,0° a 229,0°	400°/s
Asse 7 rotazione	da -168,5° a 168,5°	180°/s

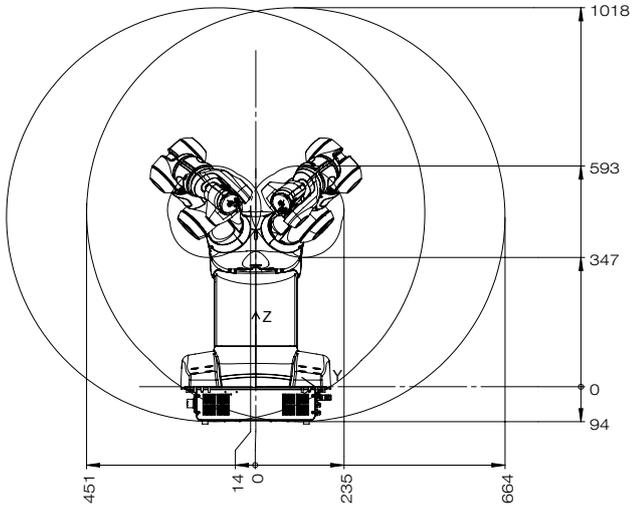
L’ordine fisico degli assi è 1,2,7,3,4,5,6

Prestazioni

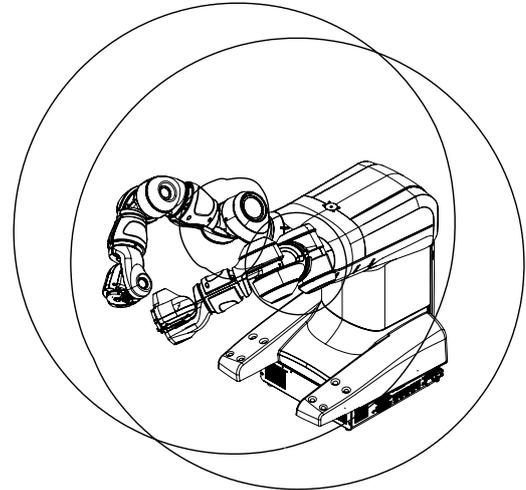
0,5 kg ciclo di picking	
25* 300 * 25 mm	0,86s
Velocità max TCP	1,5 m/s
Accelerazione Max TCP	11 m/s*s
Tempo di accelerazione	0-1m/s 0.12s

Dimensioni

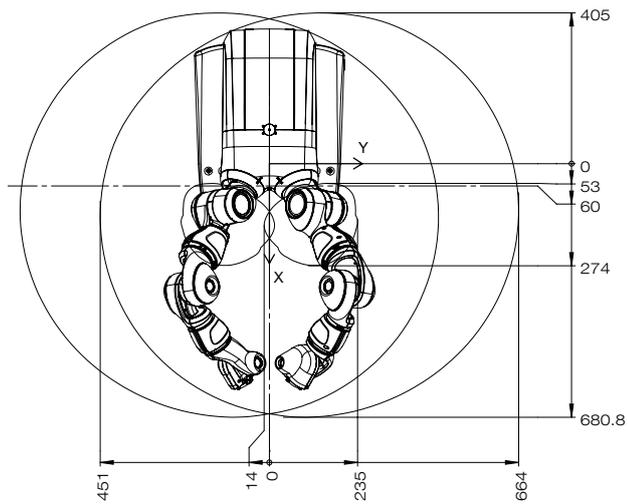
Totale parte inferiore	399mm * 496mm
Punte	399mm * 134mm
Peso	38kg



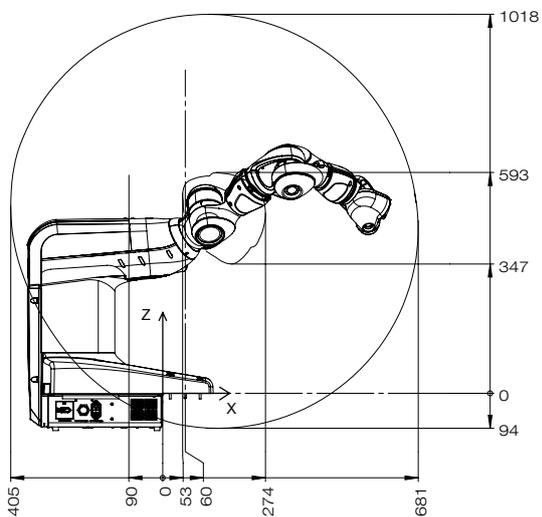
IRB 14000-0,5/0,5 Vista frontale



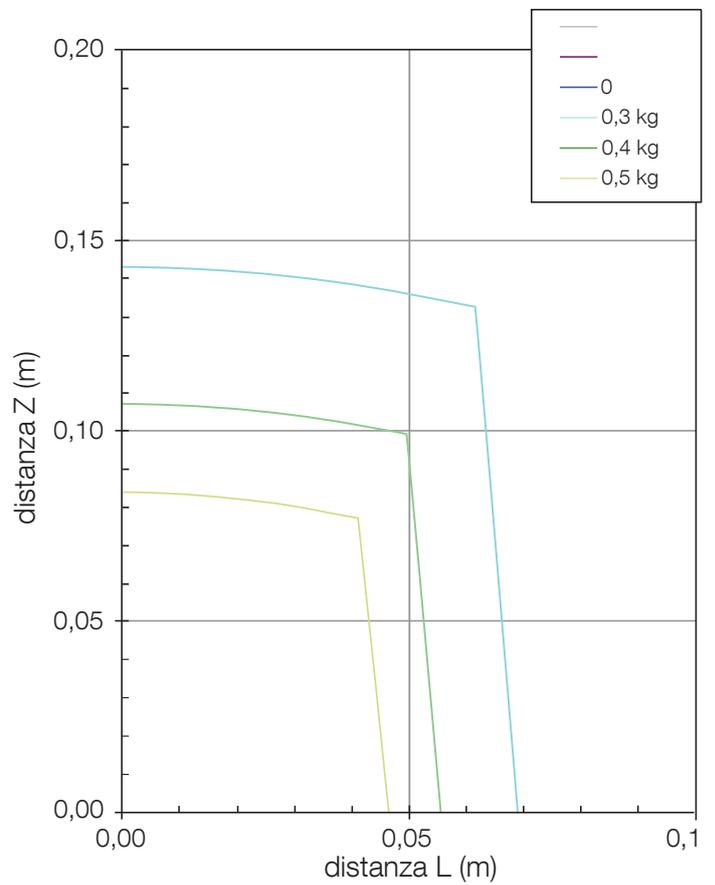
IRB 14000-0,5/0,5 Vista isometrica



IRB 14000-0,5/0,5 Vista dall'alto



IRB 14000-0,5/0,5 Vista laterale



IRB 14000-0,5/0,5 Vista laterale

Dettagli tecnici

UR3

UR5

UR10

Prestazioni

Ripetibilità	±0.1 mm / ±0.0039 in (4 mils)	±0.1 mm / ±0.0039 in (4 mils)	±0.1 mm / ±0.0039 in (4 mils)
Gamma di temperatura ambiente	0-50*	0-50°	0-50°
Consumo di corrente	Min 90W, Tipico 125W, Max 250W	Min 90W, Tipico 150W, Max 325W	Min 90W, Tipico 250W, Max 500W
Funzionamento in collaborazione	15 funzioni di sicurezza avanzate regolabili. Funzione di sicurezza approvata TÜV NORD Collaudata in conformità con: EN ISO 13849:2008 PL d	15 funzioni di sicurezza avanzate regolabili. Funzione di sicurezza approvata TÜV NORD Collaudata in conformità con: EN ISO 13849:2008 PL d	15 funzioni di sicurezza avanzate regolabili. Funzione di sicurezza approvata TÜV NORD Collaudata in conformità con: EN ISO 13849:2008 PL d

Specifiche

Carico utile	3 kg / 6.6 lbs	5 kg / 11 lbs	10 kg / 22 lbs
Portata:	500 mm / 19.7 in	850 mm / 33.5 in	1300 mm / 51.2 in
Gradi di libertà	6 giunti rotanti	6 giunti rotanti	6 giunti rotanti
Programmazione	Interfaccia utente grafica Polyscope su schermo touch da 12 pollici con supporto	Interfaccia utente grafica Polyscope su schermo touch da 12 pollici con supporto	Interfaccia utente grafica Polyscope su schermo touch da 12 pollici con supporto

Movimento

Movimento assiale del robot	Raggio d'azione	Velocità massima	Raggio d'azione	Velocità massima	Raggio d'azione	Velocità massima
Base	± 360°	± 180°/Sec.	± 360°	± 180°/Sec.	± 360°	± 120°/Sec.
Spalla	± 360°	± 180°/Sec.	± 360°	± 180°/Sec.	± 360°	± 120°/Sec.
Gomito	± 360°	± 180°/Sec.	± 360°	± 180°/Sec.	± 360°	± 180°/Sec.
Polso 1	± 360°	± 360°/Sec.	± 360°	± 180°/Sec.	± 360°	± 180°/Sec.
Polso 2	± 360°	± 360°/Sec.	± 360°	± 180°/Sec.	± 360°	± 180°/Sec.
Polso 3	Infinita	± 360°/Sec.	± 360°	± 180°/Sec.	± 360°	± 180°/Sec.
Tool center point		1 m/Sec. / 39.4 in/Sec.		1 m/Sec. / 39.4 in/Sec.		1 m/Sec. / 39.4 in/Sec.

Caratteristiche

Classificazione IP	IP64	IP54	IP54
Classe ISO Clean Room	5	5	5
Rumorosità	70dB	72dB	72dB
Posizione di installazione robot	Qualsiasi	Qualsiasi	Qualsiasi
Porte I/O	Ingresso digitale 2 Uscita digitale 2 Ingresso analogico 2 Uscita analogica 0	Ingresso digitale 2 Uscita digitale 2 Ingresso analogico 2 Uscita analogica 0	Ingresso digitale 2 Uscita digitale 2 Ingresso analogico 2 Uscita analogica 0
Alimentazione al tool	12 V/24 V 600 mA	12 V/24 V 600 mA	12 V/24 V 600 mA

Corpo robot

Ingombro alla base	Ø128mm	Ø149mm	Ø190mm
Materiali	Alluminio, plastiche PP	Alluminio, plastiche PP	Alluminio, plastiche PP
Tipo di connettore Tool	M8	M8	M8
Lunghezza cavo di collegamento robot	6 m / 236 in	6 m / 236 in	6 m / 236 in
Peso meccanica robot con cavo	11 kg / 24.3 lbs	18,4 kg / 40.6 lbs	28,9 kg / 63.7 lbs

*Il robot può operare ad un intervallo di temperatura di 0-50°C. In caso di velocità sostenuta e continua dei giunti, la temperatura ambiente è ridotta.

QUADRO ELETTRICO

Caratteristiche

Classificazione IP	IP20
Classe ISO Clean Room	6
Rumorosità	<65dB(A)
Porte I/O	Ingresso digitale 16 Uscita digitale 16 Ingresso analogico 2 Uscita analogica 2
Alimentazione I/O:	24V 2A
Comunicazione	TCP/IP 100Mbit, Modbus TCP, Profnet, EthernetIP
Fonte di alimentazione	100-240 VAC, 50-60 Hz
Gamma di temperatura ambiente	0-50°

Struttura quadro elettrico

Dimensioni	475 x 423 x 268 mm / 18.7 x 16.7 x 10.6 in
Peso	UR3, UR5 15 kg / 33,1 lbs UR10 17 kg / 37,5 lbs

Materiali Lamiera

TERMINALE DI PROGRAMMAZIONE

Caratteristiche

Classificazione IP	IP20
Struttura	
Materiali	Alluminio, PP
Peso	1,5 kg
Lunghezza cavo	4,5 m / 177 in



UR3e

UR5e

UR10e

Performance

Power consumption	Approx. 100 W using a typical program	Approx. 200 W using a typical program	Approx. 350 W using a typical program
Collaboration operation	17 advanced adjustable safety functions incl. elbow monitoring. Remote Control according to ISO 10218	17 advanced adjustable safety functions incl. elbow monitoring. Remote Control according to ISO 10218	17 advanced adjustable safety functions incl. elbow monitoring. Remote Control according to ISO 10218
Certifications	EN ISO 13849-1, Cat.3, PL d, and EN ISO 10218-1	EN ISO 13849-1, Cat.3, PL d, and EN ISO 10218-1	EN ISO 13849-1, Cat.3, PL d, and EN ISO 10218-1
F/T Sensor - Force, x-y-z			
Range	30 N	50 N	100 N
Resolution	1.0 N	2.5 N	2.0 N
Accuracy	3.5 N	4.0 N	5.5 N
F/T Sensor - Torque, x-y-z			
Range	10 Nm	10 Nm	10 Nm
Resolution	0.02 Nm	0.04 Nm	0.02 Nm
Accuracy	0.10 Nm	0.30 Nm	0.60 Nm
Ambient temperature range	0-50°C*	0-50°C	0-50°C
Humidity	90%RH (non-condensing)	90%RH (non-condensing)	90%RH (non-condensing)

Specification

Payload	3 kg / 6.6 lbs		5 kg / 11 lbs		10 kg / 22 lbs	
Reach	500 mm / 19.7 in		850 mm / 33.5 in		1300 mm / 51.2 in	
Degrees of freedom	6 rotating joints DOF		6 rotating joints DOF		6 rotating joints DOF	
Programming	Polyscope graphical user interface on 12 inch touchscreen with mounting		Polyscope graphical user interface on 12 inch touchscreen with mounting		Polyscope graphical user interface on 12 inch touchscreen with mounting	
Movement						
Pose Repeatability	+/- 0.03 mm, with payload, per ISO 9283		+/- 0.03 mm, with payload, per ISO 9283		+/- 0.05 mm, with payload, per ISO 9283	
Axis movement robot arm	Working range	Maximum speed	Working range	Maximum speed	Working range	Maximum speed
Base	± 360	±180°/Sec.	± 360	±180°/Sec.	± 360	±120°/Sec.
Shoulder	± 360	±180°/Sec.	± 360	±180°/Sec.	± 360	±120°/Sec.
Elbow	± 360	±180°/Sec.	± 360	±180°/Sec.	± 360	±180°/Sec.
Wrist 1	± 360	±360°/Sec.	± 360	±180°/Sec.	± 360	±180°/Sec.
Wrist 2	± 360	±360°/Sec.	± 360	±180°/Sec.	± 360	±180°/Sec.
Wrist 3	Infinite	±360°/Sec.	± 360	±180°/Sec.	± 360	±180°/Sec.
Typical TCP speed	1 m/Sec. / 39.4 in/Sec.		1 m/Sec. / 39.4 in/Sec.		1 m/Sec. / 39.4 in/Sec.	

Features

IP classification	IP54	IP54	IP54
ISO Class Cleanroom	5	6	5
Noise	Less than 60 dB(A)	Less than 65 dB(A)	Less than 65 dB(A)
Robot mounting	Any Orientation	Any Orientation	Any Orientation
I/O ports	Digital in 2 Digital out 2 Analog in 2 Analog out 0 UART interface (9.6k-5Mbps)	Digital in 2 Digital out 2 Analog in 2 Analog out 0 UART interface (9.6k-5Mbps)	Digital in 2 Digital out 2 Analog in 2 Analog out 0 UART interface (9.6k-5Mbps)
I/O power supply in tool	12V/24V 600mA continuous, 2A for shorter periods	12V/24V 600mA continuous, 2A for shorter periods	12V/24V 600mA continuous, 2A for shorter periods

Physical

Footprint	Ø 128 mm	Ø 149 mm	Ø 190 mm
Materials	Aluminium, Plastic, Steel	Aluminium, Plastic, Steel	Aluminium, Plastic, Steel
Tool (end-effector) connector type	M8 M8 8-pin	M8 M8 8-pin	M8 M8 8-pin
Cable length robot arm	6 m / 236 in	6 m / 236 in	6 m / 236 in
Weight including cable	11.2 kg / 24.7 lbs	20.6 kg / 45.4 lbs	33.5 kg / 73.9 lbs

* The robot can work in a temperature range of 0-50°C at a high continuous joint speed, ambient temperature is reduced.

TECHNICAL DETAILS

Control box

Features

IP classification	IP44
ISO Class Cleanroom	6
Ambient temperature range	0-50°
I/O ports	Digital in 16 Digital out 16 Analog in 2 Analog out 2 500 Hz control, 4 separated high speed quadrature digital inputs
I/O power supply	24V 2A
Communication	Control frequency: 500 Hz ModbusTCP: 500 Hz signal frequency ProfiNet and EthernetIP: 500 Hz signal frequency USB ports: 1 USB 2.0, 1 USB 3.0
Power source	100-240VAC, 47-440Hz
Humidity	90%RH (non-condensing)

Physical

Control box size (WxHxD)	475 mm x 423 mm x 268 mm 18.7 in x 16.7 in x 10.6 in
Weight	
UR3e	Max 13 kg / 28.7 lbs
UR5e	Max 13.6 kg / 30.0 lbs
UR10e	Max 13.6 kg / 30.0 lbs
Materials	Steel

Teach pendant

Features

IP classification	IP54
Humidity	90%RH (non-condensing)
Display resolution	1280 x 800 pixels
Physical	
Materials	Plastic
Weight including 1m of TP cable	1.6 kg / 3.5 lbs
Cable length	4.5 m / 177.17 in

Get started with Universal Robots today

Universal Robots has more than 50+ local offices and a wide network of channel partners (distributors and system integrators) worldwide.

UR16e

Specifiche tecniche



Specifiche

Carico utile al polso	16 kg (35,3 lbs)
Sbraccio	900 mm (35,4 in)
Gradi di libertà	6 giunti rotanti
Programmazione	Interfaccia grafica utente Polyscope su schermo tattile da 12 pollici con supporto

Prestazioni

Potenza massima assorbita in una applicazione tipica	585 W	
Potenza assorbita in una applicazione tipica con parametri moderati	350 W	
Funzionamento collaborativo	17 funzioni di sicurezza	
Certificazioni	EN ISO 13849-1, PLD Categoria 3, e EN ISO 10218-1	
Sensore F/T	Forza, x-y-z	Coppia, x-y-z
Campo di misura	160.0 N	10.00 Nm
Risoluzione	5.0 N	0.2 Nm
Accuratezza	5.5 N	0.5 Nm

Movimento

Ripetibilità di posizionamento, secondo ISO 9283	± 0.05 mm	
Giunto	Corsa	Velocità massima
Base	± 360°	± 120°/s
Spalla	± 360°	± 120°/s
Gomito	± 360°	± 180°/s
Polso 1	± 360°	± 180°/s
Polso 2	± 360°	± 180°/s
Polso 3	± 360°	± 180°/s
Velocità tipica TCP	1 m/s (39,4 in/s)	

Caratteristiche

Classificazione IP	IP54
Classe ISO Clean room	5
Rumorosità	Inferiore a 65 dB(A)
Posizione di installazione robot	Qualsiasi orientamento
Porte I/O al tool	
Ingressi digitali	2
Uscite digitali	2
Ingressi analogici	2
Tensione I/O al polso	12/24 V
Corrente I/O al polso	2 A (Doppio pin) 1 A (Singolo pin)

Caratteristiche fisiche

Ingombro alla base	Ø 190 mm
Materiali	Alluminio, plastica PP, acciaio
Tipo di connettore tool (end-effector)	M8 M8 8-pin
Lunghezza cavo di collegamento robot	6 m (236 in)
Peso, con cavo	33,1 kg (73 lbs)
Intervallo temperatura ambiente	0-50°C
Umidità	90% RH (senza condensa)

Quadro elettrico

Caratteristiche

Classificazione IP	IP44
Classe ISO Clean room	6
Intervallo temperatura ambiente	0-50°C
Porte I/O	
Ingressi digitali	16
Uscite digitali	16
Ingressi analogici	2
Uscite analogiche	2
Ingressi digitali ad alta velocità in quadratura a 500Hz	4
Alimentazione I/O	24V 2A
Comunicazione	Frequenza di controllo: 500 Hz Modbus TCP PROFINET Ethernet/IP USB 2.0, USB 3.0
Alimentazione elettrica	100-240VAC, 47-440Hz
Umidità	90%RH (senza condensa)

Caratteristiche fisiche

Dimensioni (LxHxP)	475 mm x 423 mm x 268 mm (18,7 in x 16,7 in x 10,6 in)
Peso	12 kg (26,5 lbs)
Materiali	Acciaio verniciato a polvere

Terminale di programmazione

Caratteristiche

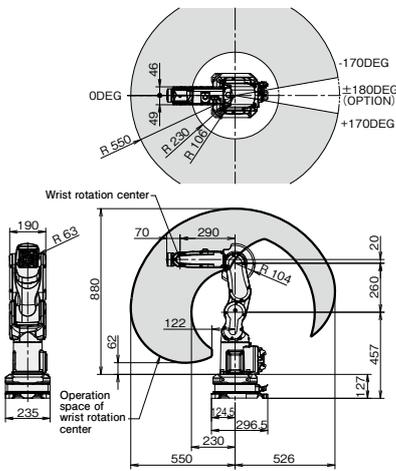
Classificazione IP	IP54
Umidità	90%RH (senza condensa)
Risoluzione del display	1280 x 800 Pixel

Caratteristiche fisiche

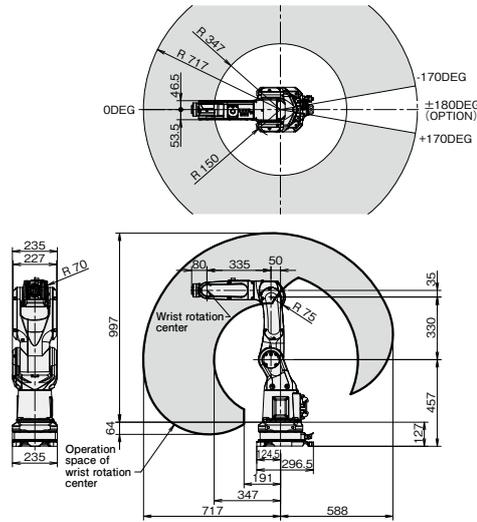
Materiali	Plastica
Peso con cavo TP 1 m	1,6 kg (3,5 lbs)
Lunghezza cavo TP	4,5 m (177,17 in)

Operating space

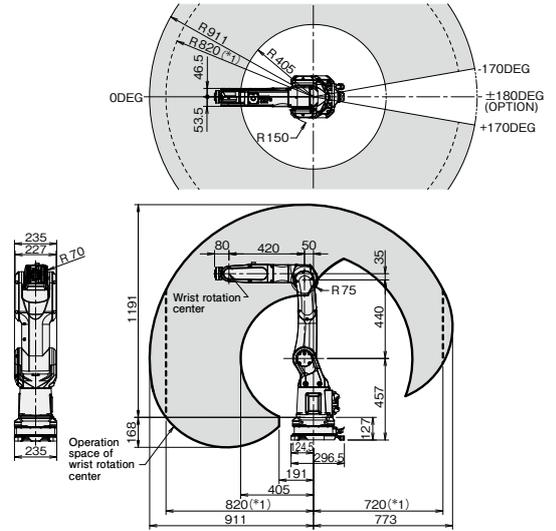
CR-4iA



CR-7iA



CR-7iA/L CR-14iA/L



(*1) In case of CR-14iA/L with 12kg load or more

Specifications

Model	CR-4iA	CR-7iA	CR-7iA/L	CR-14iA/L
Controlled axes	6 axes (J1, J2, J3, J4, J5, J6)			
Reach	550 mm	717 mm	911 mm	911 mm (load capacity <12kg) 820 mm (load capacity ≥12kg)
Installation (Note 1)	Floor, Upside-down, Angle mount			
Motion range	J1 axis	340° 5.93 rad	340° 5.93 rad	340° 5.93 rad
	J2 axis	150° 2.61 rad	166° 2.89 rad	166° 2.89 rad
	J3 axis	354° 6.17 rad	373° 6.51 rad	383° 6.68 rad
	J4 axis	380° 6.63 rad	380° 6.63 rad	380° 6.63 rad
	J5 axis	200° 3.49 rad	240° 4.18 rad	240° 4.18 rad
	J6 axis	720° 12.57 rad	720° 12.57 rad	720° 12.57 rad
Max. load capacity at wrist (Note 2)	4 kg	7 kg	7 kg	14 kg
Maximum speed (Note 3, Note 4)	1000 mm/s			500 mm/s
Allowable load moment at wrist	J4 axis	8.86 N·m	16.6 N·m	16.6 N·m
	J5 axis	8.86 N·m	16.6 N·m	16.6 N·m
	J6 axis	4.90 N·m	9.4 N·m	9.4 N·m
Allowable load inertia at wrist	J4 axis	0.20 kg·m ²	0.47 kg·m ²	0.47 kg·m ²
	J5 axis	0.20 kg·m ²	0.47 kg·m ²	0.47 kg·m ²
	J6 axis	0.067 kg·m ²	0.15 kg·m ²	0.15 kg·m ²
Repeatability (Note 5)	±0.01 mm			
Mass (Note 6)	48 kg	53 kg	55 kg	
Installation environment	Ambient temperature : 0 to 45°C Ambient humidity : Normally 75 %RH or less (No dew nor frost allowed) Short time (within one month) Max.95%RH Vibration acceleration : 4.9 m/s ² (0.5G) or less			

Note 1) In case of the wall mount, the operation space will be restricted according with the payload.

Note 2) A total weight including the equipment and connection cables and its swing must not exceed this value when you install the equipment.

Note 3) During short distance motions, the speed may not reach the maximum value stated.

Note 4) It is necessary to set a motion speed according to risk assessment of system.

Note 5) Compliant with ISO9283.

Note 6) Without controller.

FANUC CORPORATION

Headquarters Oshino-mura, Yamanashi 401-0597, Japan
 Phone: 81-555-84-5555 Fax: 81-555-84-5512 <https://www.fanuc.co.jp>

- Overseas Affiliated Companies
- FANUC America Corporation
- FANUC Europe Corporation, S.A.
- SHANGHAI-FANUC Robotics CO., LTD.
- KOREA FANUC CORPORATION
- TAIWAN FANUC CORPORATION
- FANUC INDIA PRIVATE LIMITED
- FANUC SINGAPORE PTE. LTD.
- FANUC THAI LIMITED
- FANUC MECHATRONICS (MALAYSIA) SDN. BHD.
- PT. FANUC INDONESIA
- FANUC OCEANIA PTY. LIMITED
- FANUC SOUTH AFRICA (PROPRIETARY) LIMITED

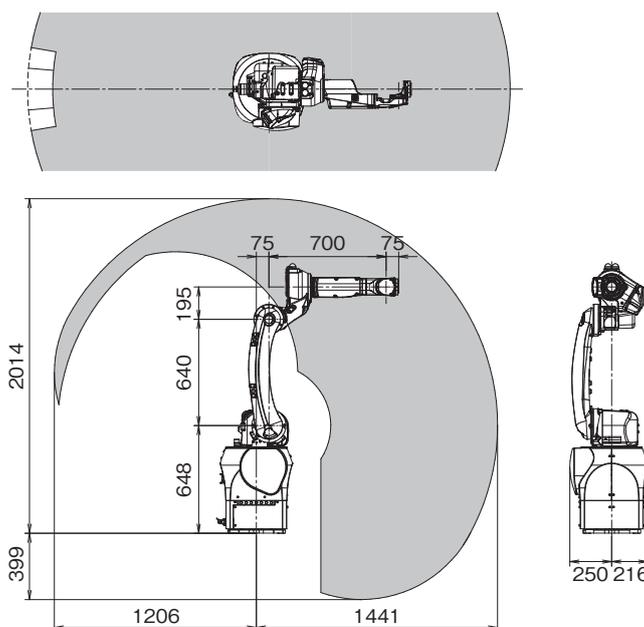
- 3900 West Hamlin Road, Rochester Hills, MI 48309-3253, U.S.A.
- Zone Industrielle, L-6468 Echternach, Grand-Duché de Luxembourg
- No. 1500 Fulian Road, Baoshan Area, Shanghai, China
- 101, Wanam-ro(st), Seongsan-gu, Changwon-si, Gyeongsangnam-do, 642-290 Republic of Korea
- No.10, 16th Road, Taichung Industrial Park, Taichung, Taiwan
- 41-A, Electronics City, Bangalore, 560 100, India
- No.1 Teban Gardens Crescent, Singapore 608919, Singapore
- 1301 Pattanakarn Road, Kwaeng Suanluang, Khet Suanluang, Bangkok 10250 Thailand
- No.32, Jalan Pengacara U1/48, Temasya Industrial Park, Section U1, Glenmarie, 40150 Shah Alam, Selangor Darul Ehsan, Malaysia
- JL. Boulevard Bukit Gading Raya Blok R, Jakarta 14240 Indonesia
- 10 Healey Circuit, Huntingwood, NSW 2148, Australia
- 17 Loper Ave, Aeroport Industrial Ests. Spartan Ext.2 P.O.Box 219, Isando 1600, Republic of South Africa

- Phone: 1-248-377-7000 Fax: 1-855-774-7051
- Phone: 352-727777-1 Fax: 352-727777-403
- Phone: 86-21-5032-7700 Fax: 86-21-5032-7711
- Phone: 82-55-278-1200 Fax: 82-55-284-9826
- Phone: 886-4-2359-0522 Fax: 886-4-2359-0771
- Phone: 91-80-2852-0057 Fax: 91-80-2852-0051
- Phone: 65-6567-8566 Fax: 65-6566-5937
- Phone: 66-2-714-6111 Fax: 66-2-714-6120
- Phone: 60-3-7628-0110 Fax: 60-3-7628-0220
- Phone: 62-21-4584-7285 Fax: 62-21-4584-7288
- Phone: 61-2-8822-4600 Fax: 61-2-8822-4666
- Phone: 27-11-392-3610 Fax: 27-11-392-3615

- All specifications are subject to change without notice.
- No part of this catalog may be reproduced in any form.
- The products in this catalog are controlled based on Japan's "Foreign Exchange and Foreign Trade Law". The export from Japan may be subject to an export license by the government of Japan. Further, re-export to another country may be subject to the license of the government of the country from where the product is re-exported. Furthermore, the product may also be controlled by re-export regulations of the United States government. Should you wish to export or re-export these products, please contact FANUC for advice.

Operating space

CR-15iA



Specifications

Model		CR-15iA
Type		6axes (J1,J2,J3,J4,J5,J6)
Reach		1441 mm
Installation		Floor, Upside-down, Angle mount
Motion range (Note 1)	J1 axis	340° / 370° 5.93 rad / 6.46 rad
	J2 axis	180° 3.14 rad
	J3 axis	312° 5.45 rad
	J4 axis	380° 6.63 rad
	J5 axis	280° 4.89 rad
	J6 axis	900° 15.71 rad
Max load capacity at wrist		15 kg
Maximum speed (Note 2)		800 mm/s (Note 3) (Max 1500 mm/s (Note 4))
Allowable load moment at wrist	J4 axis	26.0 N·m
	J5 axis	26.0 N·m
	J6 axis	11.0 N·m
Allowable load inertia at wrist	J4 axis	0.90 kg·m ²
	J5 axis	0.90 kg·m ²
	J6 axis	0.30 kg·m ²
Repeatability(Note 5)		± 0.02 mm
Mass (Note 6)		255 kg
Installation environment		Ambient temperature : 0 to 45°C Ambient humidity : Normally 75%RH or less (No dew nor frost allowed), Short time (within one month) Max.95%RH

Note 1) In case of angle mounting, J1 and J2 axis motion range are restricted.

Note 2) During short distance motions, the axis speed may not reach the maximum value stated.

Note 3) It is necessary to set a motion speed according to risk assessment of system.

Note 4) If the area is monitored by a safety sensor (located separately).

Note 5) Compliant with ISO9283.

Note 6) Without controller.

FANUC CORPORATION

Headquarters Oshino-mura, Yamanashi 401-0597, Japan

Phone: 81-555-84-5555 Fax: 81-555-84-5512 <https://www.fanuc.co.jp>

●Overseas Affiliated Companies
 FANUC America Corporation
 FANUC Europe Corporation, S.A.
 SHANGHAI-FANUC Robotics CO., LTD.
 KOREA FANUC CORPORATION
 TAIWAN FANUC CORPORATION
 FANUC INDIA PRIVATE LIMITED
 FANUC SINGAPORE PTE. LTD.
 FANUC THAI LIMITED
 FANUC MECHATRONICS (MALAYSIA) SDN. BHD.
 PT. FANUC INDONESIA
 FANUC OCEANIA PTY. LIMITED
 FANUC SOUTH AFRICA (PROPRIETARY) LIMITED

3900 West Hamlin Road, Rochester Hills, MI 48309-3253, U.S.A.
 Zone Industrielle, L-6468 Echternach, Grand-Duché de Luxembourg
 No. 1500 Fulian Road, Baoshan Area, Shanghai, China
 101, Wanam-ro(st), Seongsan-gu, Changwon-si, Gyeongsangnam-do, 642-290 Republic of Korea
 No.10, 16th Road, Taichung Industrial Park, Taichung, Taiwan
 41-A, Electronics City, Bangalore, 560 100, India
 No.1 Teban Gardens Crescent, Singapore 608919, Singapore
 1301 Pattanakarn Road, Kwaeng Suanluang, Khet Suanluang, Bangkok 10250 Thailand
 No.32, Jalan Pengacara U1/48, Temasya Industrial Park, Section U1, Glenmarie,
 40150 Shah Alam, Selangor Darul Ehsan, Malaysia
 JL. Boulevard Bukit Gading Raya Blok R, Jakarta 14240 Indonesia
 10 Healey Circuit, Huntingwood, NSW 2148, Australia
 17 Loper Ave. Aeroport Industrial Ests. Spartan Ext.2 P.O.Box 219, Isando 1600, Republic of South Africa

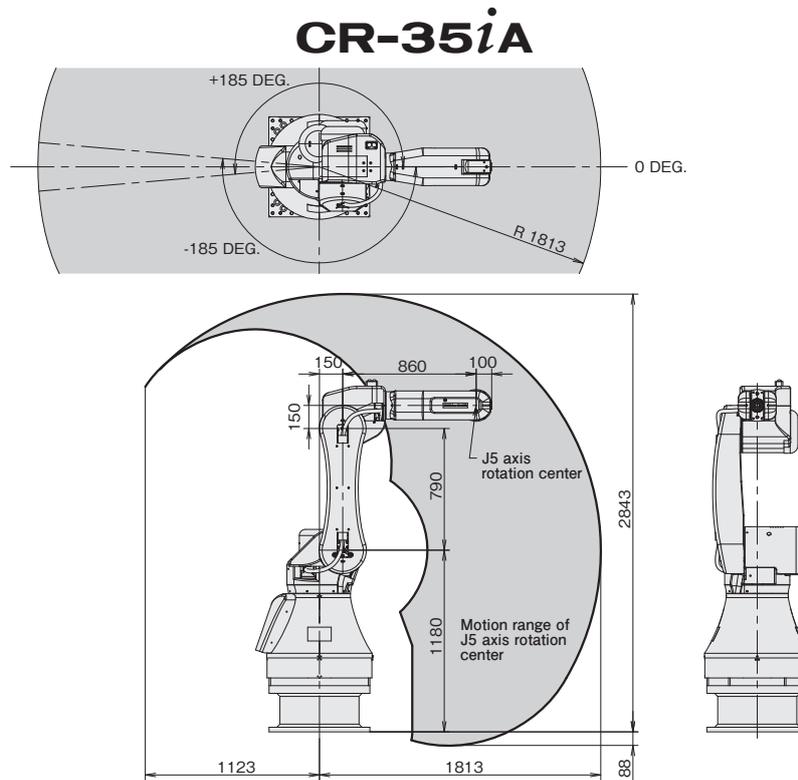
Phone: 1-248-377-7000 Fax: 1-855-774-7051
 Phone: 352-727777-1 Fax: 352-727777-403
 Phone: 86-21-5032-7700 Fax: 86-21-5032-7711
 Phone: 82-55-278-1200 Fax: 82-55-284-9826
 Phone: 886-4-2359-0522 Fax: 886-4-2359-0771
 Phone: 91-80-2852-0057 Fax: 91-80-2852-0051
 Phone: 65-6567-8566 Fax: 65-6566-5937
 Phone: 66-2-714-6111 Fax: 66-2-714-6120
 Phone: 60-3-7628-0110 Fax: 60-3-7628-0220
 Phone: 62-21-4584-7285 Fax: 62-21-4584-7288
 Phone: 61-2-8822-4600 Fax: 61-2-8822-4666
 Phone: 27-11-392-3610 Fax: 27-11-392-3615

●All specifications are subject to change without notice.
 ●No part of this catalog may be reproduced in any form.
 ●The products in this catalog are controlled based on Japan's "Foreign Exchange and Foreign Trade Law". The export from Japan may be subject to an export license by the government of Japan. Further, re-export to another country may be subject to the license of the government of the country from where the product is re-exported. Furthermore, the product may also be controlled by re-export regulations of the United States government. Should you wish to export or re-export these products, please contact FANUC for advice.

© FANUC CORPORATION, 2018

RCR15iA(E)-02, 2018.10, Printed in Japan

Operating space



Specifications

Model		CR-35iA	
Type		Articulated Type	
Controlled axes		6 axes (J1, J2, J3, J4, J5, J6)	
Reach		1813 mm	
Installation		Floor	
Motion range	J1 axis rotation	340° / 370°(Option)	5.93 rad / 6.46 rad(Option)
	J2 axis rotation	165°	2.88 rad
	J3 axis rotation	258°	4.50 rad
	J4 axis wrist rotation	400°	6.98 rad
	J5 axis wrist swing	220°	3.84 rad
	J6 axis wrist rotation	900°	15.71 rad
Max. load capacity at wrist		35 kg	
Max. load capacity on J3 casing		2 kg	
Maximum speed (Note 1, Note 2)		750 mm/s	
Allowable load moment at wrist	J4 axis	110 N·m	
	J5 axis	110 N·m	
	J6 axis	60 N·m	
Allowable load inertia at wrist	J4 axis	4.00 kg·m ²	
	J5 axis	4.00 kg·m ²	
	J6 axis	1.50 kg·m ²	
Drive method		Electric servo drive by AC servo motor	
Repeatability (Note 3)		±0.03 mm	
Mass (Note 4)		990 kg	
Installation environment		Ambient temperature : 0 to 45°C Ambient humidity : Normally 75 %RH or less (No dew nor frost allowed) Short time (within one month) Max.95%RH Vibration acceleration : 4.9 m/s ² (0.5G) or less	

Note 1) In case of short distance motion, the speed may not reach the maximum value stated.

Note 2) It is necessary to set a motion speed according to risk assessment of system.

Note 3) Compliant with ISO9283.

Note 4) Without controller.

FANUC CORPORATION

Headquarters Oshino-mura, Yamanashi 401-0597, Japan

Phone: 81-555-84-5555 Fax: 81-555-84-5512 <https://www.fanuc.co.jp>

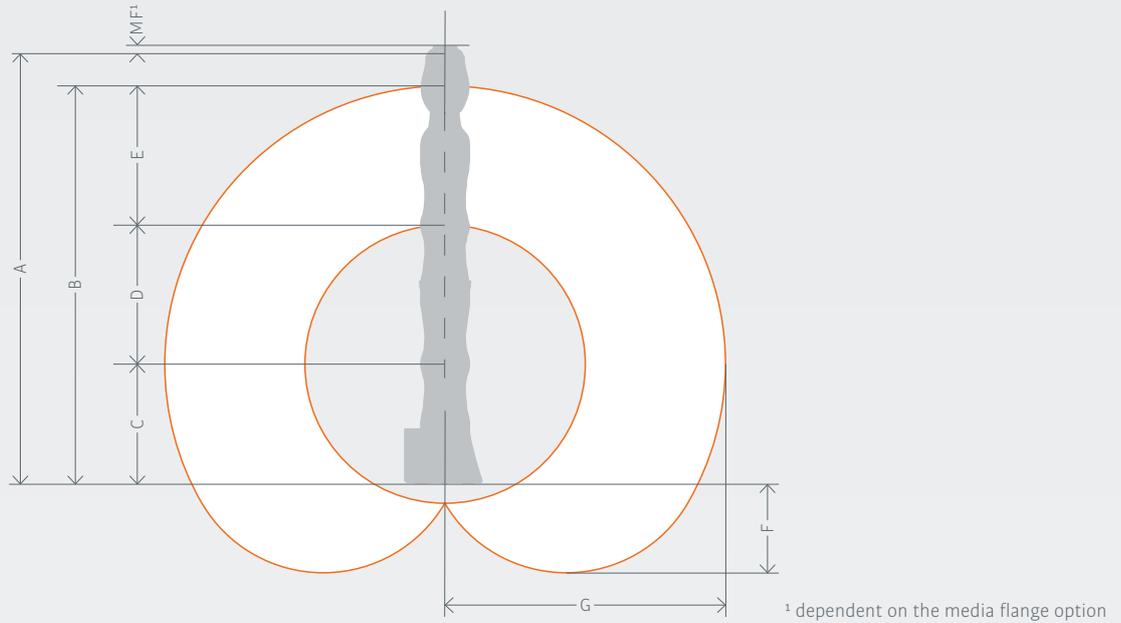
●Overseas Affiliated Companies
 FANUC America Corporation
 FANUC Europe Corporation, S.A.
 SHANGHAI-FANUC Robotics CO., LTD.
 KOREA FANUC CORPORATION
 TAIWAN FANUC CORPORATION
 FANUC INDIA PRIVATE LIMITED
 FANUC SINGAPORE PTE. LTD.
 FANUC THAI LIMITED
 FANUC MECHATRONICS (MALAYSIA) SDN. BHD.
 PT. FANUC INDONESIA
 FANUC OCEANIA PTY. LIMITED
 FANUC SOUTH AFRICA (PROPRIETARY) LIMITED

3900 West Hamlin Road, Rochester Hills, MI 48309-3253, U.S.A.
 Zone Industrielle, L-6468 Echternach, Grand-Duché de Luxembourg
 No. 1500 Fulian Road, Baoshan Area, Shanghai, China
 101, Wanam-ro(st), Seongsan-gu, Changwon-si, Gyeongsangnam-do, 642-290 Republic of Korea
 No.10, 16th Road, Taichung Industrial Park, Taichung, Taiwan
 41-A, Electronics City, Bangalore, 560 100, India
 No.1 Teban Gardens Crescent, Singapore 608919, Singapore
 1301 Pattanakarn Road, Kwaeng Suanluang, Khet Suanluang, Bangkok 10250 Thailand
 No.32, Jalan Pengacara U1/48, Temasya Industrial Park, Section U1, Glenmarie,
 40150 Shah Alam, Selangor Darul Ehsan, Malaysia
 JL. Boulevard Bukit Gading Raya Blok R, Jakarta 14240 Indonesia
 10 Healey Circuit, Huntingwood, NSW 2148, Australia
 17 Loper Ave. Aeroport Industrial Ests. Spartan Ext.2 P.O.Box 219, Isando 1600, Republic of South Africa

Phone: 1-248-377-7000 Fax: 1-855-774-7051
 Phone: 352-727777-1 Fax: 352-727777-403
 Phone: 86-21-5032-7700 Fax: 86-21-5032-7711
 Phone: 82-55-278-1200 Fax: 82-55-284-9826
 Phone: 886-4-2359-0522 Fax: 886-4-2359-0771
 Phone: 91-80-2852-0057 Fax: 91-80-2852-0051
 Phone: 65-6567-8566 Fax: 65-6566-5937
 Phone: 66-2-714-6111 Fax: 66-2-714-6120
 Phone: 60-3-7628-0110 Fax: 60-3-7628-0220
 Phone: 62-21-4584-7285 Fax: 62-21-4584-7288
 Phone: 61-2-8822-4600 Fax: 61-2-8822-4666
 Phone: 27-11-392-3610 Fax: 27-11-392-3615

- All specifications are subject to change without notice.
- No part of this catalog may be reproduced in any form.
- The products in this catalog are controlled based on Japan's "Foreign Exchange and Foreign Trade Law". The export from Japan may be subject to an export license by the government of Japan. Further, re-export to another country may be subject to the license of the government of the country from where the product is re-exported. Furthermore, the product may also be controlled by re-export regulations of the United States government. Should you wish to export or re-export these products, please contact FANUC for advice.

Technical data



Workspace	Dimensions A	Dimensions B	Dimensions C	Dimensions D	Dimensions E	Dimensions F	Dimensions G	Volume
LBR iiwa 7 R800	1,266 mm	1,140 mm	340 mm	400 mm	400 mm	260 mm	800 mm	1.7 m ³
LBR iiwa 14 R820	1,306 mm	1,180 mm	360 mm	420 mm	400 mm	255 mm	820 mm	1.8 m ³

LBR iiwa	LBR iiwa 7 R800	LBR iiwa 14 R820
Rated payload	7 kg	14 kg
Number of axes	7	7
Wrist variant	In-line wrist	In-line wrist
Mounting flange A7	DIN ISO 9409-1-A50	DIN ISO 9409-1-A50
Installation position	any	any
Positioning accuracy (ISO 9283)	± 0.1 mm	± 0.1 mm
Axis-specific torque accuracy	± 2 %	± 2 %
Weight	23.9 kg	29.9 kg
Protection rating	IP 54	IP 54

Axis data / Range of motion		LBR iiwa 7 kg		LBR iiwa 14 kg	
		Maximum torque	Maximum velocity	Maximum torque	Maximum velocity
Axis 1 (A1)	± 170°	176 Nm	98°/s	320 Nm	85°/s
Axis 2 (A2)	± 120°	176 Nm	98°/s	320 Nm	85°/s
Axis 3 (A3)	± 170°	110 Nm	100°/s	176 Nm	100°/s
Axis 4 (A4)	± 120°	110 Nm	130°/s	176 Nm	75°/s
Axis 5 (A5)	± 170°	110 Nm	140°/s	110 Nm	130°/s
Axis 6 (A6)	± 120°	40 Nm	180°/s	40 Nm	135°/s
Axis 7 (A7)	± 175°	40 Nm	180°/s	40 Nm	135°/s

Programmable Cartesian stiffness

Min. (X, Y, Z)	0.0 N/m	0.0 N/m
Max. (X, Y, Z)	5,000 N/m	5,000 N/m
Min. (A, B, C)	0.0 N/rad	0.0 N/rad
Max. (A, B, C)	300 Nm/rad	300 Nm/rad

KUKA Sunrise Cabinet

Processor	Quad-core processor
Hard drive	SSD
Interfaces	USB, EtherNet, DVI-I
Protection rating	IP20
Dimensions (D x W x H)	500 mm x 483 mm x 190 mm
Weight	23 kg

Power supply connection

Rated supply voltage	AC 110 V to 230 V
Permissible tolerance of rated voltage	± 10 %
Mains frequency	50 Hz ± 1 Hz or 60 Hz ± 1 Hz
Mains-side fusing	2 x 16 A slow-blowing

30,000 operating hours



Media flange options

The energy supply system for the external components of the LBR iiwa is hidden in the kinematic structure of the robot. Two energy supply systems are available:

Pneumatic

2 x air (diameter 4.0 mm)
 2 x electrical (1.0 mm²)
 1 x EtherNet-capable cable

Electrical

3 x twisted two-wire cables (AWG28)
 4 x electrical (1.0 mm²)
 1 x EtherNet-capable cable

All media flanges have a hole pattern conforming to DIN ISO 9409-1-50-7-M6. The following media flanges are available:

	Basic flange	Media flange electrical	Media flange pneumatic	Media flange IO electrical	Media flange IO pneumatic	Media flange Touch electrical	Media flange Touch pneumatic	Media flange IO valve pneumatic	Media flange Inside electrical	Media flange Inside pneumatic
Interface for CAT5 and analog signals (4 pins)		●	●						●	●
Interface for CAT5 and analog signals (6 pins)		●		●		●			●	
Interface for energy supply system (3 A, 24 V), no external power supply required				●	●	●	●	●		
Interface for energy supply system (max. 4 A, max. 60 V) with external power supply				●		●				
Interface for energy supply system (max. 5 A, max. 60 V) with external power supply		●							●	
Interface for energy supply system (max. 8 A, max. 30 V) with external power supply			●							
Interface for energy supply system (max. 8 A, max. 60 V) with external power supply		●							●	●
Pneumatic interface with 2 compressed air connections			●		●		●			●
EtherCAT connection				●	●	●	●	●		
Configurable inputs and outputs for direct connection of sensors and other electrical components				●	●	●	●	●		
Enabling switch, programmable application switch, programmable visual display (LED)						●	●			
Grip for manual mode						●	●			
Intelligent pneumatic interface: 2 integrated bistable valves and 1 additional air connection								●		



KUKA robot controller

Gripper for HRC technology

KUKA 3D Perception

KUKA Connect

Graphical user interface

Fully equipped if desired – from gripper to 3D perception

All KUKA solutions are intelligent and modular – thus ensuring planning reliability. A big plus: the LBR iisy can be modified at any time. Regardless of the task to be mastered – whether it is an application from one of our community partners, a modern 3D perception system or a ready2-use solution for immediate operation – the LBR iisy readily opens up new possibilities in automation.

Number of axes

6

Rated payload

3 kg

Max. reach

600 mm

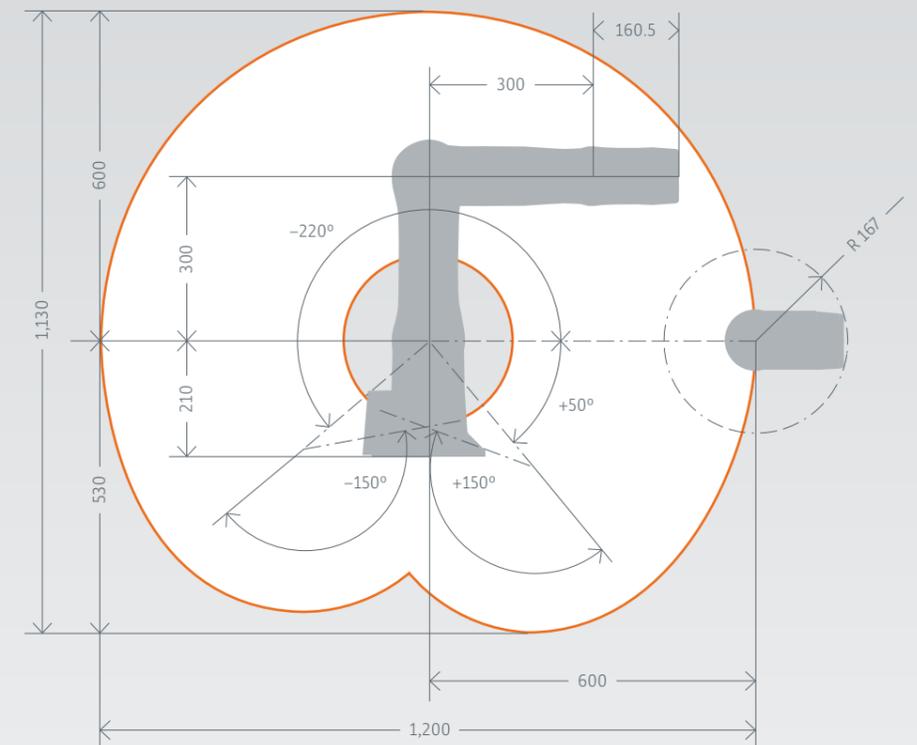
Weight (excluding controller), approx.

18.8 kg

Safety for HRC

PL d / Cat 3

Working envelope



6 safety layers for a modular approach

STANDARD CONFIGURATION	Foam
	Contact sensor
	Proximity sensor
OPTIONS	Manual guidance
	Laser scanner management
	Force control

Features

- High payload and reach collaborative robot (170 kg, 2.8 m reach)
- Collision avoidance system
- Automatic switch between collaborative/high speed modes
- Mode identification based on LED color
- Fully collaborative robotic systems (including gripper)
- Hollow Wrist robot

Benefits

- Optimized working process even in heavy payload collaborative application
- Floor space optimization
- Reduction of yellow components (e.g. fences)
- Easy re-programming by non-experts due to manual guidance

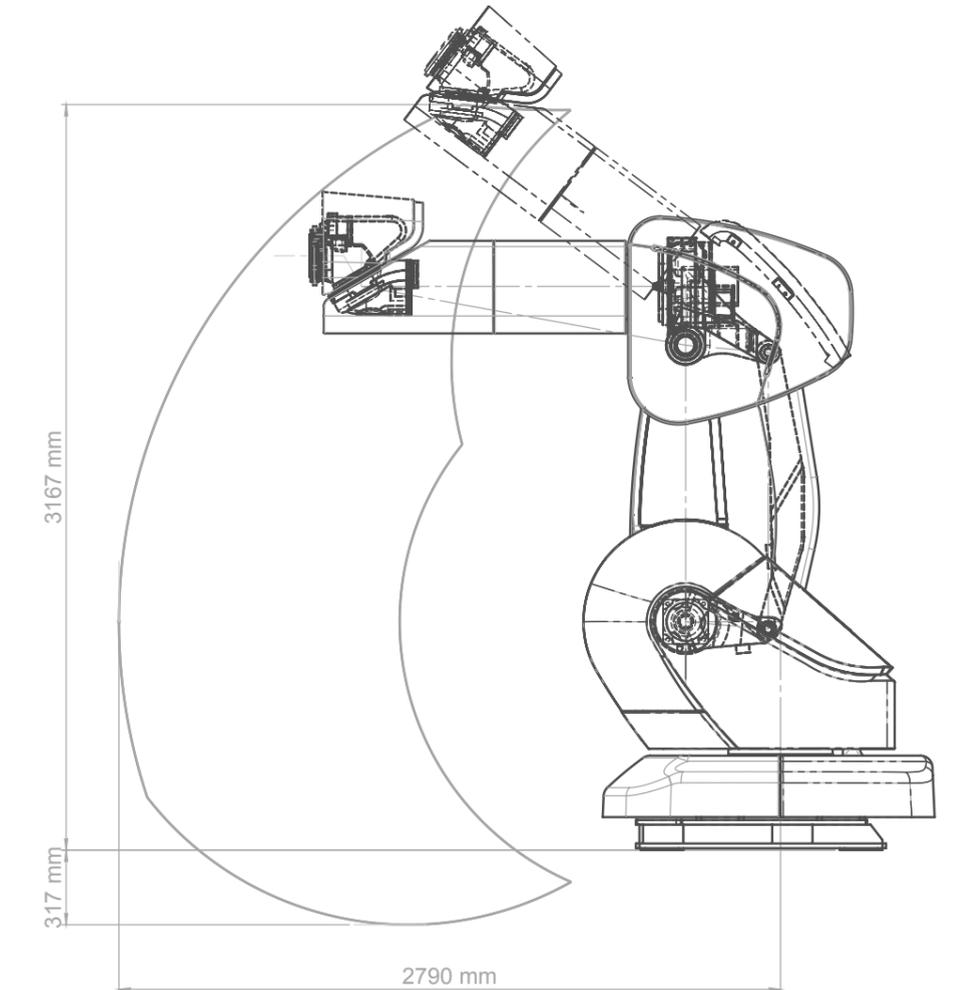
With AURA we transform a standard Comau Hollow Wrist robot into a collaborative solution.



Technical specifications

VERSION	AURA-170-2.8	
Structure / n° axes	anthropomorphous / 6 axes	
Max load at wrist	170 kg (375 lbs)	
Torque on axis 4	1010 Nm	
Torque on axis 5	804 Nm	
Torque on axis 6	412 Nm	
Stroke / (Speed)	Axis 1	+/- 180° (100 °/s)*
	Axis 2	+85° / - 20° (85 °/s)*
	Axis 3	-50° / -220° (100 °/s)*
	Axis 4	+/- 180° (130 °/s)*
	Axis 5	+/- 180° (140 °/s)*
	Axis 6	+/- 180° (190 °/s)*
Maximum horizontal reach	2790 mm (109.8 in)	
Repeatability	+/-0,1 mm	
Robot weight	1615 kg (3560 lbs)	
Tool coupling flange	ISO 9409 - 1 - A 125 ISO 9409 - 1 - A 160	
Motors	AC brushless	
Position measurement system	encoders	
Total power installed	8 kVA	
Working temperature	0 / +45 °C	
Storage temperature	-25 °C / + 55 °C	
Robot color	blue and grey	
Assembly position	floor	
Maximum linear speed	up to 2000 mm/s*	
Maximum collaborative linear speed	up to 500 mm/s	
Maximum proximity detection	up to 200 mm	

* Maximum speed not collaborative mode (with additional safety device)

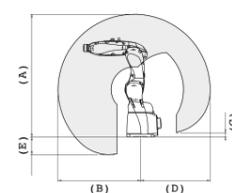
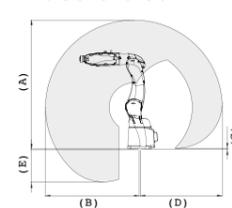


Racer



**Precision and speed
meet beauty and passion**

**Racer3
Racer5-0.63
Racer5-0.80**

Model	Racer3	Racer5-0.63	Racer5-0.80	Suggested applications	
Number of axes	6	6	6	<ul style="list-style-type: none"> • Assembly • Cosmetic Sealing • Handling / Packaging • Machine Tending • Measuring / Testing • Polishing / Deburring 	
Maximum wrist payload	3 kg	5 kg*	5 kg		
Additional load on forearm	2 kg	-	-		
Maximum horizontal reach	630 mm	630 mm	809 mm		
Torque on axis 4	7.36 Nm	8.83 Nm	8.83 Nm		
Torque on axis 5	7.36 Nm	8.83 Nm	8.83 Nm		
Torque on axis 6	4.41 Nm	4.91 Nm	4.91 Nm		
Stroke (Speed)	Axis 1	+/- 170° (430 °/s)	+/- 170° (400°/s)	+/- 170° (360°/s)	
	Axis 2	-95°/ +135° (450 °/s)	-95°/ +135° (360°/s)	-95°/ +135° (300°/s)	
	Axis 3	-155° / +90° (500 °/s)	-155° / +90° (400°/s)	-155° / +90° (330°/s)	
	Axis 4	+/- 200° (600 °/s)	+/- 200° (500°/s)	+/- 210° (500°/s)	
	Axis 5	+/- 125° (600 °/s)	+/- 125° (500°/s)	+/- 125° (500°/s)	
	Axis 6	+/- 2700° (900 °/s)	+/- 2700° (800°/s)	+/- 2700° (800°/s)	
Repeatability	0.02 mm	0.03 mm	0.03 mm		
Tool coupling flange	ISO 9409 - 1 - A 40	ISO 9409 - 1 - A 25	ISO 9409 - 1 - A 25		
Robot weight	30 kg	30 kg	32 kg		
Protection class	IP54	IP54 (IP65 Option)	IP54 (IP65 Option)		
Mounting position	Floor / Ceiling / Wall	Floor / Ceiling / Wall**	Floor / Ceiling / Wall**		
Operating Areas	A	1081 mm	945 mm	1124 mm	
	B	630 mm	630 mm	809 mm	
	C	37 mm	37 mm	8 mm	
	D	530 mm	530 mm	708 mm	
	E	136 mm	136 mm	286 mm	

*For Pick&Place 6 kg with a limited stroke of the 5th axis

** Allowable with payload limitations

Technical details

Target Applications in areas such as:

- CNC machining
- PCB handling and ICT
- Metal fabrication
- Molding operations
- Packaging
- Line Loading and unloading
- Test and inspection

The Complete Robot Solution:

- Sawyer BLACK Edition for more precision, durability, and even more silent operation.
- Intra software - best-in-class Robot Operating Platform
- Embedded Cognex cameras
- Robot Positioning System – dynamic reorientation using embedded cameras
- ClickSmart gripper kits
- Global support with service hubs in Asia, Europe and USA

Basic Specifications	
Max Reach	1260 mm
Typical Tool Speed	1.5 m/s
Degrees of Freedom	7
Operating Temperature	5° C - 40° C, 80 % relative humidity
Joint Ranges	J0 - J3 = 350° J4 - J5 = 340° J6 = 540°
Payload	4 kg
Power Requirements	100-240 V AC, 47-63 Hz, 4A Max
I/O Ports (Controller)	8 digital in / 8 digital out
Communication	Modbus TCP, TCP/IP
IP Class	54
Collaborative Standards	ISO 10218-1 :2011
I/O End of Arm	4 digital in / 2 digital out / 2 analog in / 24 V DC 2A, ClickSmart plate required

AFFIDABILITÀ

Affidabilità coerente e costante per risultati garantiti

Requisiti minimi di avviamento e manutenzione



- Ready to move concept
- Nessuna batteria sul braccio o nel controllore
- Tutte le parti del robot sono facilmente accessibili e sostituibili
- Componenti brevettati, come il riduttore intelligente JCS, per una manutenzione limitata ed una durabilità elevata
- Costi d'acquisto ridotti per un più veloce rientro dell'investimento

Efficienza energetica controllore CS9



- Il robot più efficiente basato su normativa VDMA 24608, con una riduzione del consumo energetico pari al 15% rispetto alla generazione precedente
- Recupero energetico ad ogni decelerazione dei giunti
- Le modalità risparmio energetico e sleep consentono un risparmio fino al 40%

Manutenzione del controllore CS9

- Manutenzione ridotta
- Alimentazione universale per tutti i voltaggi
- Facile accesso ai cassetti grazie al design intelligente



GAMMA ROBOT TX2, CONTROLLORE CS9, PULSANTIERA MANUALE SP2

Caratteristiche principali



MODELLO	TX2-40	TX2-60	TX2-60L	TX2-90	TX2-90L	TX2-90XL
Carico Massimo	2 kg 2.3 kg condizioni specifiche	4.5 kg 9 kg condizioni specifiche	3.7 kg 5 kg condizioni specifiche	14 kg 20 kg condizioni specifiche	12 kg 15 kg condizioni specifiche	7 kg 9 kg condizioni specifiche
Carico Nominale	1.7 kg	3.5 kg	2 kg	6 kg	5 kg	4 kg
Portata (tra l'asse 1 e 6)	515 mm	670 mm	920 mm	1000 mm	1200 mm	1450 mm
Numero di gradi di libertà	6	6	6	6	6	6
Ripetibilità - ISO 9283	± 0.02 mm	± 0.02 mm	± 0.03 mm	± 0.03 mm	± 0.035 mm	± 0.04 mm
Peso	29 kg	52,2 kg	52,5 kg	114 kg	117 kg	119 kg
Controllore Serie Stäubli	CS9	CS9	CS9	CS9	CS9	CS9



CS9 controllore - (H x W x D) 270 x 445 x 365 mm - 38 kg

- IP20
- 1 GB RAM
- USB ports
- 2 GB CFAST
- Serial Link RS232, 2 porte Ethernet (Socket, FTP Server/Client)
- EtherCAT Master
- Modbus TCP/IP Server & Client, Sercos III Slave, Ethernet IP Adapter, ProfiNet IO-Device, EtherCAT Slave, PowerLink Controlled Node, FSoE Slave

Modello opzionale per CS9

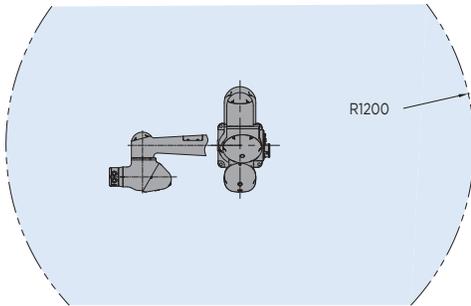
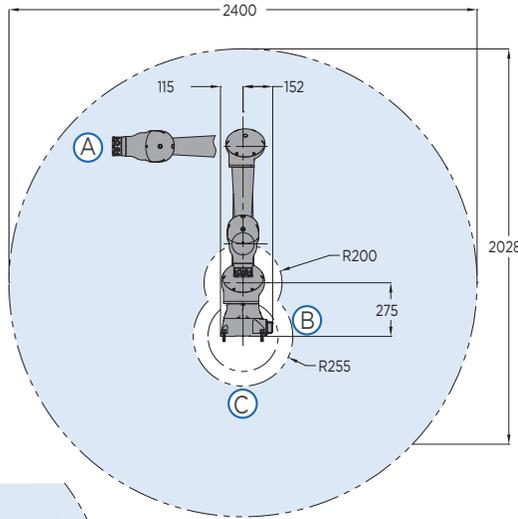
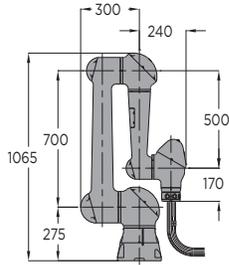
- PCIe card: **ASI** Master, **CCLink** Client, **Profibus DP** Master & Slave, **Ethernet IP** Scanner & Adapter, **ProfiNet** IO-Controller & Device, **EtherCAT** Master & Slave, **Sercos III** Master & Slave, **PowerLink** Controlled Node
- Remote I/O
- Chassis industrial con scambiatore di calore ad aria
- **OPC UA server**



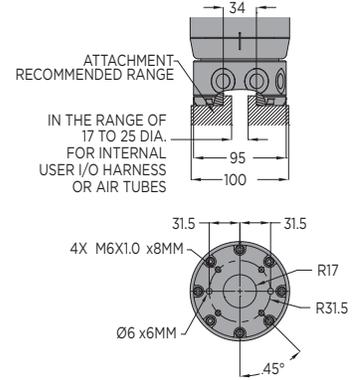
Pulsantiera di controllo manuale SP2: la potenza di Stäubli sulla punta delle dita

- Questo terminale unico combina leggerezza, ergonomia mancini o destrimani e robustezza per consentire il miglior utilizzo in tutti gli ambienti:
- Programmazione, manutenzione e supervisione
 - Funzioni di sicurezza (uomo morto a 3 posizioni, rilevatore di presenza)

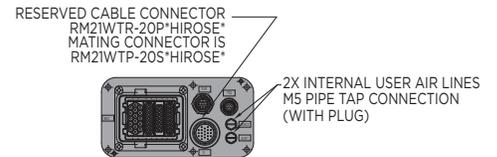
HC10DT Robot



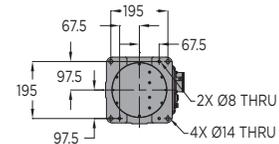
VIEW A



VIEW B



VIEW C



All dimensions are metric (mm) and for reference only. Request detailed drawings for all design/engineering requirements.

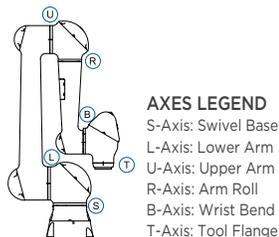
SPECIFICATIONS

Axes	Maximum motion range [°]	Maximum speed [°/sec.]	Allowable moment [N•m]	Allowable moment of inertia [kg•m ²]
S	±180	130	-	-
L	±180	130	-	-
U	+355/-5	180	-	-
R	±180	180	27.4	0.78
B	±180	250	27.4	0.78
T	±180	250	9.8	0.1

Mounting Options: Floor, Wall, Ceiling, Tilt

Options

- Third-party function-specific collaborative tooling and accessories



Item	HC10DT
Controlled axes	6
Maximum payload [kg]	10
Repeatability [mm]	±0.1
Maximum reach [mm]	1,200
I/O Expansion	Ethernet/IP, DeviceNet, Profibus - DP, Remote I/O, Discrete I/O, Analog I/O and other networks available
Tool Center Point (TCP)	Non-collaborative mode: 1000 mm/s Collaborative mode: 250 mm/s* (factory default)
Internal user I/O cable	8 X 0.2 mm ² and 8 X 0.3 mm ² wires
Internal user air lines	2 x 4 mm OD
Power requirements	Single-phase 200/230 VAC (+10% to -15%), 50/60 Hz ±2% 120 VAC available with optional transformer Three-phase 200/220 VAC (+10% to -15%), 50/60 Hz ±2%
Power rating [kVA]	1
Weight [kg]	48
IP classification	IP20
Safety certification	TUV Rheinland
Designed to meet	Functional Safety, Cat. 3 PLd, Safety Functions, EN ISO 13849:2008 PLd

* Collaborative mode speed is user-defined based on safety assessment

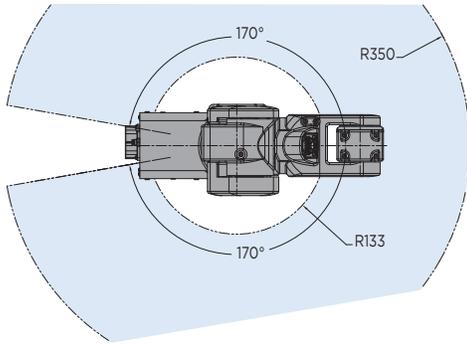
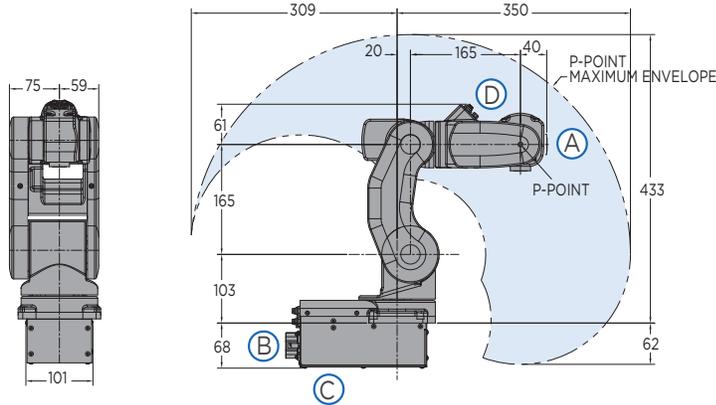
Yaskawa America, Inc. | Motoman Robotics Division

100 Automation Way
 Miamisburg, OH 45342
 Tel: 937.847.6200 | motoman.com

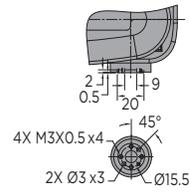
Motoman is a registered trademark. All other marks are the trademarks and registered trademarks of Yaskawa America, Inc. Technical specifications subject to change without notice. DS-778-B ©2019 Yaskawa America, Inc. MAY 2019

YASKAWA

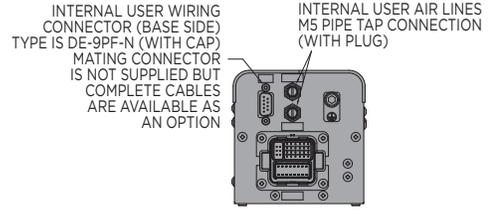
MotoMini Robot



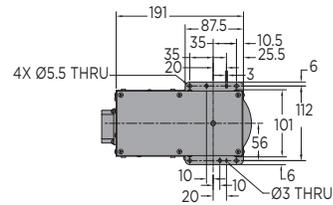
VIEW A



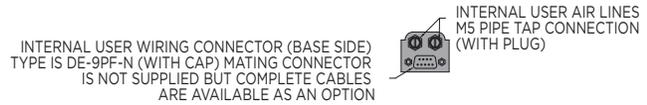
VIEW B



VIEW C



VIEW D



All dimensions are metric (mm) and for reference only. Request detailed drawings for all design/engineering requirements.

SPECIFICATIONS

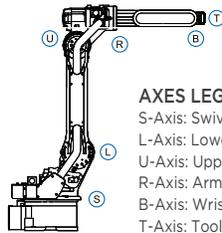
Axes	Maximum motion range [°]	Maximum speed [°/sec.]	Allowable moment [N•m]	Allowable moment of inertia [kg•m ²]
S	±170	315	-	-
L	+90/-85	315	-	-
U	+120/-175	420	-	-
R	±140	600	0.42	0.00378
B	+210/-30	600	0.42	0.00378
T	±360	600	0.37	0.00299

Mounting Options: Floor, Wall, Tilt, Ceiling

Item	MotoMini
Controlled axes	6
Maximum payload [kg]	0.5
Repeatability [mm]	±0.02
Horizontal reach [mm]	350
Vertical reach [mm]	495
Weight [kg]	7
Internal user I/O cable	24 conductors w/ ground
Internal user air line	2 x M5 connection
Power requirements	1- or 3-phase; 200/230 VAC
Power rating [kVA]	0.5

Options

Contact Yaskawa Motoman for options available with the MotoMini



AXES LEGEND
 S-Axis: Swivel Base
 L-Axis: Lower Arm
 U-Axis: Upper Arm
 R-Axis: Arm Roll
 B-Axis: Wrist Bend
 T-Axis: Tool Flange

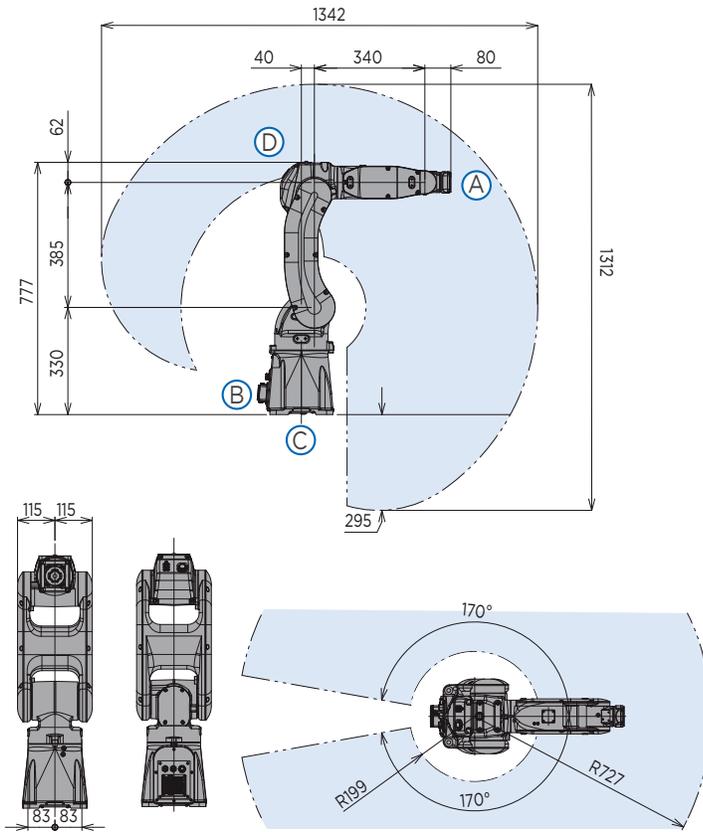
Yaskawa America, Inc. | Motoman Robotics Division

100 Automation Way
 Miamisburg, OH 45342
 Tel: 937.847.6200 | motoman.com

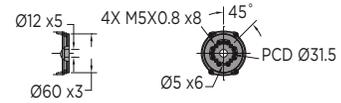
Motoman is a registered trademark. All other marks are the trademarks and registered trademarks of Yaskawa America, Inc. Technical specifications subject to change without notice. DS-763-C ©2018 Yaskawa America, Inc. OCTOBER 2018

YASKAWA

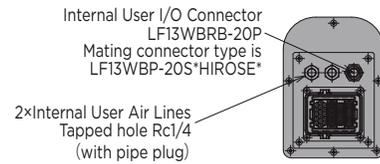
GP7 and GP8 Robots



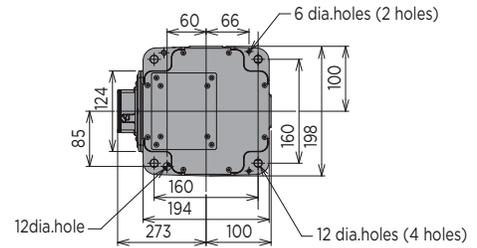
VIEW A



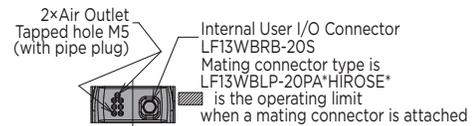
VIEW B



VIEW C



VIEW D



GP8 robot shown.
All dimensions are metric (mm) and for reference only.
Request detailed drawings for all design/engineering requirements.

SPECIFICATIONS

Axes	Maximum motion range [°]		Maximum speed [°/sec.]		Allowable moment [N•m]		Allowable moment of inertia [kg•m ²]	
	GP7	GP8	GP7	GP8	GP7	GP8	GP7	GP8
S	±170	±170	375	455	-	-	-	-
L	+145/-65	+150/-65	315	385	-	-	-	-
U	+255/-116	+255/-113	410	520	-	-	-	-
R	±190	±190	550	550	17	17	0.5	0.5
B	±135	±135	550	550	17	17	0.5	0.5
T	±360	±360	1000	1000	10	10	0.2	0.2

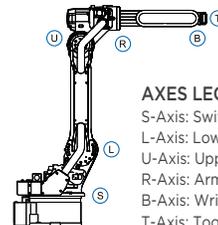
Specifications for GP7 and GP8 with XP package may be different.

Mounting Options: Floor, Wall, Tilt or Ceiling

* The MLX300 software option is not available for use with arc or spot welding applications. MLX300 fieldbus cards, I/O cards and vision equipment must be purchased separately from the supplier. All peripherals are programmed using a PLC.

Options

- Robot risers and base plates
- MotoSight™ 2D and 3D vision systems
- PLC integration via MLX300 software option*



AXES LEGEND

S-Axis: Swivel Base
L-Axis: Lower Arm
U-Axis: Upper Arm
R-Axis: Arm Roll
B-Axis: Wrist Bend
T-Axis: Tool Flange

Yaskawa America, Inc. | Motoman Robotics Division

100 Automation Way
Miamisburg, OH 45342
Tel: 937.847.6200 | motoman.com

Motoman is a registered trademark. All other marks are the trademarks and registered trademarks of Yaskawa America, Inc. Technical specifications subject to change without notice. DS-699-H ©2019 Yaskawa America, Inc. MAY 2019

YASKAWA

OB7 Robot Comparison



OB7



OB7-Max 12



OB7-Max 8

Payload:	11 lbs / 5 kg	26 lbs / 12 kg	17 lbs / 8 kg
Reach:	1000 mm	1300 mm	1700 mm
Weight:	58 lbs / 22 kg	127 lbs / 58 kg	128 lbs / 58 kg
Repeatability:	+/- 0.1 mm, .004"	+/- 0.1 mm, .004"	+/- 0.1 mm, .004"
Flexibility:	7 joints	7 joints	7 joints
Speed:	0-2+ m/sec	0-2+ m/sec	0-2+ m/sec
IP Class:	IP 61	IP 61	IP 61
Joint Ranges:	+/- 360° (all)	+/- 360° (all)	+/- 360° (all)
Programming:	No Programming, Learns by Demonstration	No Programming, Learns by Demonstration	No Programming, Learns by Demonstration
Safety:	ISO 10218-1 Compliant	ISO 10218-1 Compliant	ISO 10218-1 Compliant



OB7 Robot Models Specifications

OB7 ROBOT:

Robot Mounting Flange Dia: 220 mm: OB7
250 mm: OB7-Max

Gripper Mounting Flange: ISO 9409-1-5
0-4-M6

Working Temperature: 0-37C 32-100F

Power Source: 100-240 VAC 50-60hz

Uninterruptible Power: 10 minutes (robot stopped) for moving robot to new location

Power Consumption: OB7: 90-650 W
OB7-Max: 90-1,000 W
dependent on speed and payload

Safety: Power and force limited, ISO 10218-1 compliant

Linear Speed: 2 m/sec max (dependent on position)

IP Classification: IP 61

Noise Level: Quiet, dependent on speed and payload

Mounting Orientation: Vertical: table/ceiling
Horizontal: wall

Cable length: 1 meter, 5 meters

CONTROL COMPUTER:

Control Computer IP Rating: IP 30

Control Computer Dimensions: 343 mm x 313 mm x 102 mm
13.5" x 12.3" x 4"

Communication (hardware): Ethernet 100MB

Protocols: Ethernet IP pending

Power: 100-240 VAC 50-60 HZ

Control Tablet IP Rating: IP 60

Control Table Connection: USB

Control Tablet Dimensions: 292mm x 213mm
11.5" x 8.4"

Control Tablet Cable 5 meters, 16 ft.

ROBOT STAND for 5 Kg OB7:

Base Dimensions: 780 mm x 597 mm
30.7" x 23.5"

Robot Base Mounting: 882 mm (32.75") height

Weight: 73.5 kg (162 lbs)

Casters: 4

Leveling Feet: 4

Mounting: Included for robot computer

GENERAL EQUIPMENT INTERFACE:

Connection to Robot: Ethercat RJ45

Power Supply: 24V 2A

Digital Input Ports: 8 Optically Isolated

Digital Output Ports: 8 Relay Isolated, NC & NO

Analog Input Ports: 4

Dimensions: 253 mm x 125 mm x 37 mm
10" x 5" x 1.5"

ELECTRIC PARALLEL GRIPPER:

Weight: 1.8 lbs / .8 kg

Gripping Force: 25-140 N

Full travel close/Open Time: 1 second

Force control: Set by the robot

Open/Close positions: Set by the robot

ASSEMBLY AND WORK TABLE:

Assembly Table Dimension: 702 mm x 902 mm
27.6" 35.5"

Work Fixture Registration Holes: ¼- on 4" centers or 6 mm on 100 mm centers (metric model)

Work Fixture Hold Down Holes: ¼-20 on 4" centers or M6 on 100 mm centers

Assembly Table Surface: 6061-T6 Anodized Aluminum

Assembly Table Weight: 23 kg (51 lbs)



SMART

Built-in vision system

TM Robot is equipped with a built-in vision system, which integrates into both the hardware and software perfectly, whereas traditional add-on vision solutions to robotics are complicated, time consuming and costly to implement.

Masters in robot vision

Many standard robot vision functions are already built into our system: pattern matching, object localisation, image enhancement, bar code reading, colour recognition, etc. All these functions have been integrated into our remarkably easy-to-use user interface.

SIMPLE

Revolutionary user interface. Easy to deploy

You can implement your automation task with our revolutionary intuitive user interface, an all-graphic flow chart based HMI. TM Robot equipped with well designed hand-guiding functions with servo assist. You can lock selected axes to allow adjustment in defined planes and then fine tune the co-ordinates with easy editing of those co-ordinates within the programming package. TM robot is so simple to program and very easily deployed into different applications, remarkably reducing your time-to-production and saving your total cost in automation.

SAFE

Safety is our priority

TM Robot complies with ISO 10218-1:2011 & ISO/TS 15066:2016 human-robot co-operation safety requirements for collaborative robots, allowing the robot to be programmed with both speed and force limits. TM Robot is serious about safety in every aspect of the design of the whole robot system, through hardware, software and operational design.

TM5 The first choice for flexible automation applications

The TM5 collaborative robot features simple programming, innovative integrated vision capabilities together with the latest safety functionality, all leading to rapid deployment in a huge variety of applications. Having vision identification functionality completely integrated within the collaborative robot platform, provides an easy and intuitive way to achieve robot calibration to work piece or tooling, product selection, 1D or 2D barcodes and a host of other vision applications, delivering a true Industry 4.0 solution.

- Reach: **700mm, 900mm** ▪ Payload: **6kg, 4kg**
- Industrial application: **3C industry, Automobile industry, Food industry, Other**

Specification

SEMI S2 ISO 10218-1:2011 ISO/TS 15066:2016 CE

Model	TM5-700	TM5-900	TM5M-700	TM5M-900
Weight	22.1Kg	22.6Kg	22.1Kg	22.6Kg
Payload	6kg	4Kg	6kg	4Kg
Reach	700mm	900mm	700mm	900mm
Typical Speed	1.1m/s	1.4m/s	1.1m/s	1.4m/s
Joint ranges	J1	+/- 270°		
	J2,J4,J5	+/- 180°		
	J3	+/- 155°		
	J6	+/- 270°		
Speed	J1~J2	180°/s		
	J3	180°/s		
	J4~J5	225°/s		
	J6	225°/s		
Repeatability	+/- 0.05 mm			
Degrees of freedom	6 rotating joints			
I/O ports		Control box	Tool conn.	
	Digital in	16	3/4 (by Regional Model)	
	Digital out	16	3/4 (by Regional Model)	
	Analog in	2	1	
Analog out	1	0		
I/O power supply	24V 1.5A for control box and 24V 1.5A for tool			
IP classification	IP54 (Robot Arm); IP32 (Control Box)			
Power Consumption	Typical 220 watts			
Temperature	The robot can work in a temperature range of 0-50°C			
Power supply	100-240 VAC, 50-60 Hz		DC24V/48V/22~60V (by Reginal Model)	
I/O Interface	3×COM, 1×HDMI, 3×LAN, 4×USB2.0, 2×USB3.0, 1×VGA (by Reginal Model)			
Communication	RS232, Ethernet, Modbus TCP/RTU (master & slave)			
Programming Environment	TMflow, flowchart based			
Certification	CE (by Regional Model), SEMI S2 (Option)			
Variation Models	X: without hand eye camera, SEMI: SEMI S2 certified			
Robot Vision				
Eye in Hand (Built in)	1.2M/5M pixels, color camera			
Eye to Hand (Optional)	Support Maximum 2 GigE cameras			



Techman Robot is a registered trademark for Techman Robot Inc., which retains all the rights and interests of this trademark. The product information is for reference only, and Techman Robot Inc. is not responsible for any error or omission. Product data is subject to change without prior notice.

TM12/TM14

Class leading payload and reach

The TM12 & TM14 offer class leading payload and reach capabilities. The **TM12 offers 12Kg payload and a 1300mm reach** and the **TM14 offers a 14Kg payload and 1100mm reach**.

Like the TM5 the new increased specification robots are easy to deploy, are highly flexible, are maintenance free and provide a high performance automation solution for manufacturing.

Built in vision system

TM Robot comes with built in vision hardware and integrated vision software with human machine interface. Functions such as shape matching, barcode & QR code reading, colour recognition, OCR etc are all easily configured from the integral robot design toolbox.

Applications

- Logistics
- Handling
- De-Burring
- Polishing
- Semiconductor Transportation
- Palletising

TM12M/TM14M Mobile version series

The TM-M Series offers solutions for AGV and mobile vehicle integration

The TM-M series are powered by a DC 20-60V supply, making them compatible with most brands of AGV's and mobile vehicles. By utilising the "TM Landmark", the mobile robot can orientate itself within a 3D space, like an auto datum sequence, to multiple machine surfaces. This allows the TM-M robots to operate between two or more locations seamlessly.

Specification

SEMI S2 ISO 10218-1:2011 ISO/TS 15066:2016 CE

Model	TM12	TM14	TM12M	TM14M	
Weight	33.3Kg	32.6Kg	33.3Kg	32.6Kg	
Payload	12kg	14kg	12kg	14kg	
Reach	1300mm	1100mm	1300mm	1100mm	
Typical Speed	1.3m/s	1.1m/s	1.3m/s	1.1m/s	
Joint ranges	J1	+/- 270°			
	J2,J4,J5	+/- 180°			
	J3	+/- 166°	+/- 163°	+/- 166°	+/- 163°
	J6	+/- 270°			
Speed	J1~J2	120°/s			
	J3	180°/s			
	J4~J5	180°/s	150°/s	180°/s	150°/s
	J6	180°/s			
Repeatability	+/- 0.1 mm				
Degrees of freedom	6 rotating joints				
I/O ports		Control box	Tool conn.		
	Digital in	16	4		
	Digital out	16	4		
	Analog in	2	1		
Analog out	1	0			
I/O power supply	24V 1.5A for control box and 24V 1.5A for tool				
IP classification	IP54 (Robot Arm); IP32 (Control Box)				
Power Consumption	Typical 300 watts				
Temperature	The robot can work in a temperature range of 0-50°C				
Power supply	100-240 VAC, 50-60 Hz		DC 22V~60V		
I/O Interface	3×COM, 1×HDMI, 3×LAN, 4×USB2.0, 2×USB3.0				
Communication	RS232, Ethernet, Modbus TCP/RTU (master & slave)				
Programming Environment	TMflow, flowchart based				
Certification	CE, SEMI S2 (Option)				
Variation Models	X: without hand eye camera, SEMI: SEMI S2 certified				
Robot Vision					
Eye in Hand (Built in)	1.2M/5M pixels, color camera				
Eye to Hand (Optional)	Support Maximum 2 GigE cameras				



Techman Robot is a registered trademark for Techman Robot Inc., which retains all the rights and interests of this trademark. The product information is for reference only, and Techman Robot Inc. is not responsible for any error or omission. Product data is subject to change without prior notice.

Eva Desktop Robot Arm

Degrees of Freedom: 6
Repeatability: ± 0.5 mm
Max Payload: 1.25 kg
Reach: 600 mm
Installation Position: Upright
Weight: 9.5 kg
Joint velocity limits: 120° / second
Toolpath speed limit: 750 mm / second
Power: 24 VDC @ 11.67A
Power Consumption: 280 W Peak
Footprint: 160 x 160 mm

Electronic Interfaces

4X: Analog Inputs
2X: Analog Outputs
6X: Digital Inputs
6X: Digital Outputs
1X: E-Stop inputs
1X: Ethernet
1X: Wifi Card
Tool Power: 24 VDC @ 1A
Base I/O Power: 24 VDC @ 1.5 A

Joint Position Limits

A1: $\pm 179^\circ$
A2: $-155^\circ / 70^\circ$
A3: $160^\circ / 45^\circ$
A4: $\pm 179^\circ$
A5: $5^\circ / 10^\circ$
A6: $\pm 179^\circ$

Operating Environment

Ingress Rating: IP20
Temperature: 5 - 40 °C
Cabling: Max 3 m for power, e-stop, tools
Max Humidity @ 40°C: 50%
Max Humidity @ 20°C: 90%

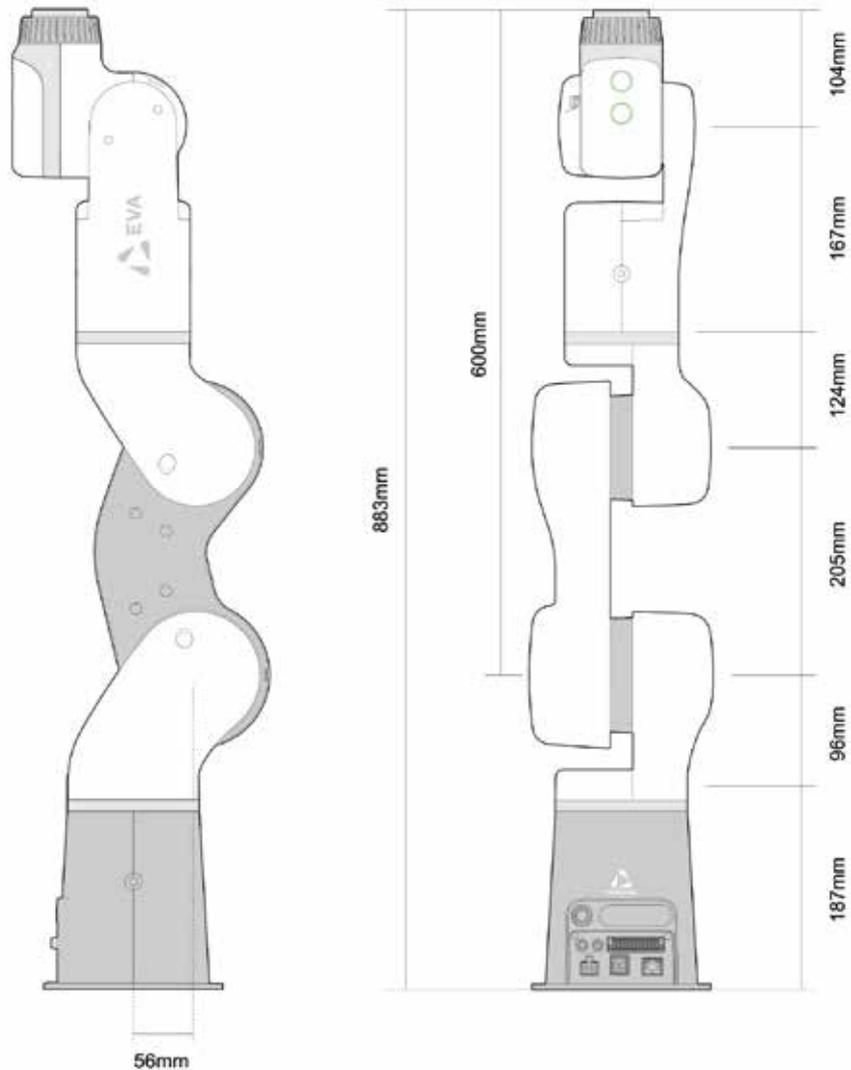
Programming

Type: Remote REST API
Interface: GUI through web browser
Communication: Ethernet or wifi
Deployment: Local (installed on robot)
Export/Import: Base64 / Javascript

Any questions?

Visit our website for more technical information

www.automata.tech



Technische Daten

Typ	Speedy 6
Traglast	6 kg
Reichweite in A5	800 mm
Anzahl der Achsen	6
Anschlussflansch A6	DIN ISO 9409-1 50 4 M6
Elektrische Schnittstelle am Endeffektor	1 x EtherCat (Cat 5e) / CAN , 1x 8 pin connector
Pneumatische Schnittstelle am Endeffektor	2
Einbaulage	Boden, Decke, geneigt
Netzspannung	100-240 VAC, 50/60 Hz
Schutzart	IP54
Wiederholgenauigkeit	± 0,1 mm
Steuerung	SY-C
Gewicht (ohne Steuerung)	28 kg
Aufstellfläche Roboter	Ø180
Umgebungstemperatur	0°C bis +55°C
Relative Luftfeuchte	max. 95%

Geschwindigkeit und Bereich der Achsen

Achsdaten	Bereich (Software)	Geschwindigkeit
Achse A1	± 300°	145° / s
Achse A2	± 90°	145° / s
Achse A3	± 160°	180° / s
Achse A4	± 300°	180° / s
Achse A5	± 117.5°	275° / s
Achse A6	± 180° (opt. endlos)	275° / s

Vergleich der Ausführungen

Variante	Speedy 6 Basic	Speedy 6 Professional
HARDWARE		
Performance Level	Pld Cat.2	Pld Cat.3
Optional Schleifring A6 (10 Gbit/s (BER<10-12))	✓	✓
Integrierte Drehmomentensensorik		✓
Optional automatischer Werkzeugwechsler	✓	✓
SOFTWARE		
Zusatzachsen	✓	✓
Mensch-Roboter		✓
Handgeführtes Teach-IN	✓	✓
Pallettieren	✓	✓
Bestücken	✓	✓
Optional Griff in die Kiste	✓	✓
Optional Greiferverwaltung	✓	✓

Technische Daten

Typ	Speedy 12
Traglast	12 kg
Reichweite in A5	1250 mm
Anzahl der Achsen	6
Anschlussflansch A6	DIN ISO 9409-1 50 4 M6
Elektrische Schnittstelle am Endeffektor	1 x EtherCat (Cat 5e) / CAN , 1x 8 pin connector, 1x Power connector
Pneumatische Schnittstelle am Endeffektor	2
Einbaulage	Boden, Decke, geneigt
Netzspannung	100-240 VAC, 50/60 Hz
Schutzart	IP54
Wiederholgenauigkeit	± 0,1 mm
Steuerung	MABICON
Gewicht (ohne Steuerung)	35 kg
Aufstellfläche Roboter	Ø200
Umgebungstemperatur	0°C bis +55°C
Relative Luftfeuchte	max. 95%

Geschwindigkeit und Bereich der Achsen

Achsdaten	Bereich (Software)	Geschwindigkeit
Achse A1	± 300°	75° / s
Achse A2	± 90°	75° / s
Achse A3	± 160°	145° / s
Achse A4	± 300°	145° / s
Achse A5	± 117.5°	275° / s
Achse A6	± 180° (opt. endlos)	275° / s

Vergleich der Ausführungen

Variante	Speedy 12 Basic	Speedy 12 Professional
HARDWARE		
Performance Level	Pld Cat.2	Pld Cat.3
Optional Schleifring A6 (10 Gbit/s (BER<10-12))	✓	✓
Integrierte Drehmomentensensorik		✓
Optional automatischer Werkzeugwechsler	✓	✓
SOFTWARE		
Zusatzachsen	✓	✓
Mensch-Roboter		✓
Handgeführtes Teach-IN	✓	✓
Pallettieren	✓	✓
Bestücken	✓	✓
Optional Griff in die Kiste	✓	✓
Optional Greiferverwaltung	✓	✓

Hanwha Robotics

HCR Series Specification

		HCR-3	HCR-5	HCR-12
Degrees of freedom		6 rotating joints	6 rotating joints	6 rotating joints
Weight (excl. cable)		13kg (28.5lb)	21kg(46.3lb)	53kg (116lb)
Payload		3kg (6.6lb)	5kg (11lb)	12kg (26.5lb)
Reach		630mm (24.8in)	915mm (36in)	1300mm (51.2in)
Joint ranges	J1	± 360°	± 360°	± 180°
	J2	± 360°	± 360°	-165° ~ +135°
	J3	± 160°	± 165°	-85° ~ +245°
	J4	± 360°	± 360°	± 190°
	J5	± 360°	± 360°	± 170°
	J6	Infinite	± 360°	± 360°
Joint Speed	J1	Max 180°/sec	Max 178°/sec	Max 130°/sec
	J2	Max 180°/sec	Max 178°/sec	Max 130°/sec
	J3	Max 180°/sec	Max 178°/sec	Max 200°/sec
	J4	Max 360°/sec	Max 180°/sec	Max 200°/sec
	J5	Max 360°/sec	Max 180°/sec	Max 200°/sec
	J6	Max 360°/sec	Max 180°/sec	Max 200°/sec
Linear Speed (Typical)		1m/s (39.4 in/s)	1m/s (39.4 in/s)	1m/s (39.4 in/s)
Repeatability		±0.1mm (±0.0039 in)	±0.1mm (±0.0039 in)	±0.1mm (±0.0039 in)
IP Classification		IP64	IP54	IP54
Flange		ISO 9409-1:2004 [Type 50-4-M6]	ISO 9409-1:2004 [Type 50-4-M6]	ISO 9409-1:2004 [Type 50-4-M6]
Too I/O	Digital In	2 (PNP)	4 (PNP)	4 (PNP)
	Digital Out	2 (NPN)	4 (NPN)	4 (NPN)
	Analog In	2	2	2
	DC	12V or 24V, 1.6A (continuous)	12V or 24V, 1.6A (continuous)	12V or 24V, 1.6A (continuous)
	EtherCAT	N/A	1	1
Mounting Position		Floor, Wall, Ceiling	Floor, Wall, Ceiling	Floor, Ceiling
Material		Aluminum(Link, Cover), Plastic(Seal, LED)	Aluminum(Link, Cover), Plastic(Seal, LED)	Aluminum(Link, Cover), Plastic(LED)
Footprint		Ø128 mm	Ø150 mm	220mm x 227mm
Cable Length (Body-Controller)		6m (integrated)	6m (integrated)	6m (separable)
Etc.			Cleanroom Certification : ISO Class 2 according to ISO 14644-1	

		HCR-3	HCR-5	HCR-12	
Controller	Box size(WxHxD)	450 mm x 560 mm x 223 mm	450 mm x 560 mm x 223 mm	450 mm x 560 mm x 223 mm	
	Weight	20kg	20kg	21kg	
	I/O Ports	Emergency	1ch (dual)	1ch (dual)	1ch (dual)
		Safety	4ch	4ch	4ch
		Remote Power On	Yes	Yes	Yes
		Digital In	16 (PNP) * including 8 flexible inputs for safety	16 (PNP) * including 8 flexible inputs for safety	16 (PNP) * including 8 flexible inputs for safety
		Digital Out	16 (PNP, <200mA per chl, 2A max) * including 8 flexible outputs for safety	16 (PNP, <200mA per chl, 2A max) * including 8 flexible outputs for safety	16 (PNP, <200mA per chl, 2A max) * including 8 flexible outputs for safety
		Analog In	2	2	2
		USB 2.0	1EA	1EA	1EA
		Ethernet (RJ-45)	1Gbps 1EA	1Gbps 1EA	1Gbps 1EA
	Communication	TCP/IP	Yes	Yes	Yes
		Mobus/TCP	Yes	Yes	Yes
	IP Classification	IP20	IP20	IP20	
	Power Supply	100-240 VAC, 50-60Hz (1kW)	100-240 VAC, 50-60Hz (1kW)	100-240 VAC, 50-60Hz (2kW)	
	Etc.		Cleanroom Certification : ISO Class 5 according ISO 14644-1		
T/P	Size	343mm x 270mm x 81mm	343mm x 270mm x 81mm	343mm x 270mm x 81mm	
	Display Size	12 inch	12 inch	12 inch	
	Weight	1.8kg (excl. cable)	1.8kg (excl. cable)	1.8kg (excl. cable)	
	Communication	USB 2.0 1EA	USB 2.0 1EA	USB 2.0 1EA	
	Cable Length (TP-Controller)	4.5m	4.5m	4.5m	
Noise	<80dB (peak)	<80dB (peak)	<80dB (LAeq)		
Ambient Temperature	0 °C ~ 50 °C	0 °C ~ 50 °C	0 °C ~ 45 °C		
Humidity	-	RH 20% ~ RH 80%	RH 20% ~ RH 80%		
Safety	EN ISO 13849-1 Cat.3, PL d EN ISO 10218-1, CE MD, KCs	EN ISO 13849-1 Cat.3, PL d EN ISO 10218-1, CE MD, KCs	EN ISO 13849-1 Cat.3, PL d EN ISO 10218-1, CE MD, KCs		



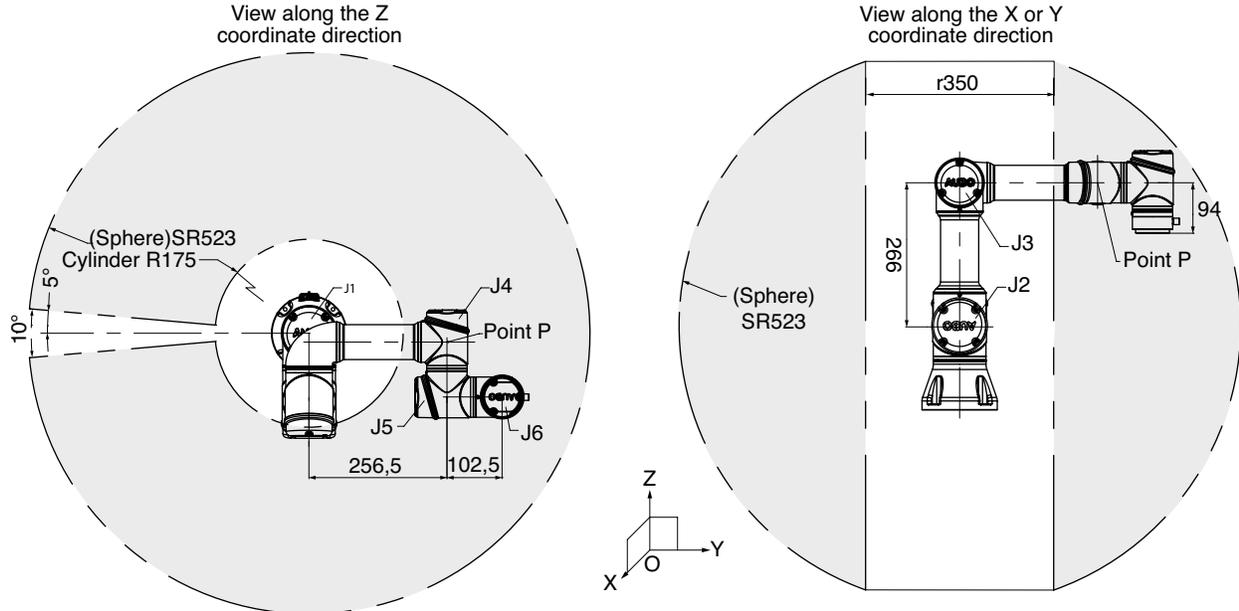
Hanwha Robotics

6, Pangyo-ro 319beon-gil, Bundang-gu,
Seongnam-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea

www.hanwharobotics.com
robot_inquiry@hanwha.com
+82-70-7147-8888

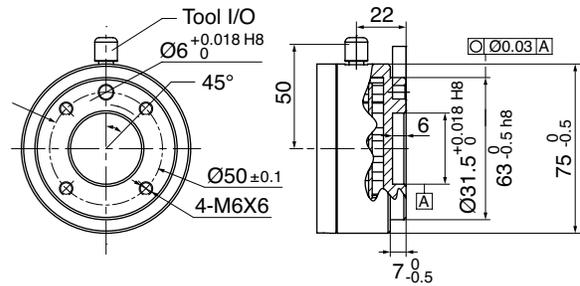
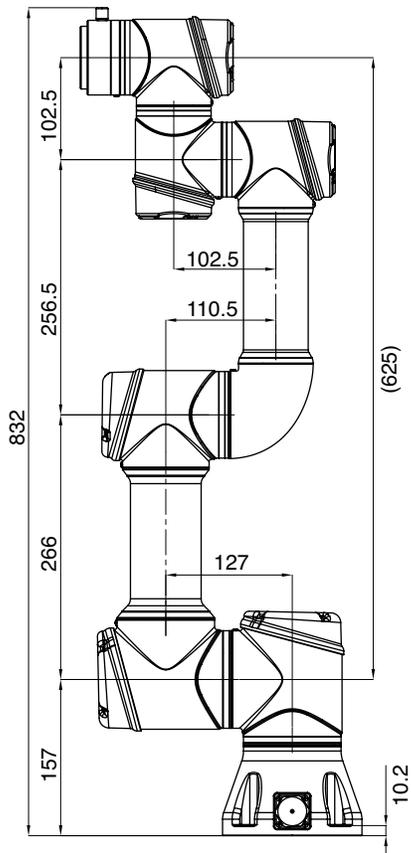
AUBO-i3 Collaborative Robot (Co-Bot)

Work Envelope-Range of Motion of the Point P

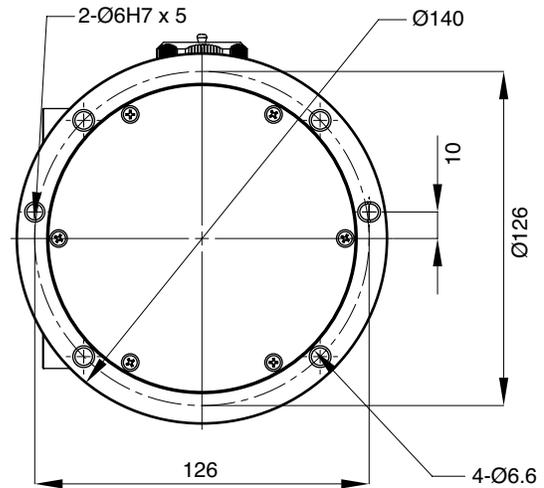


NOTE:

1. Double dotted _____ line means regional boundaries
2. The trajectory of Point P may exceed the space area which contained by the double dotted line



Wrist with Mounting Flange
DIN ISO-9409-1-50-4



Base

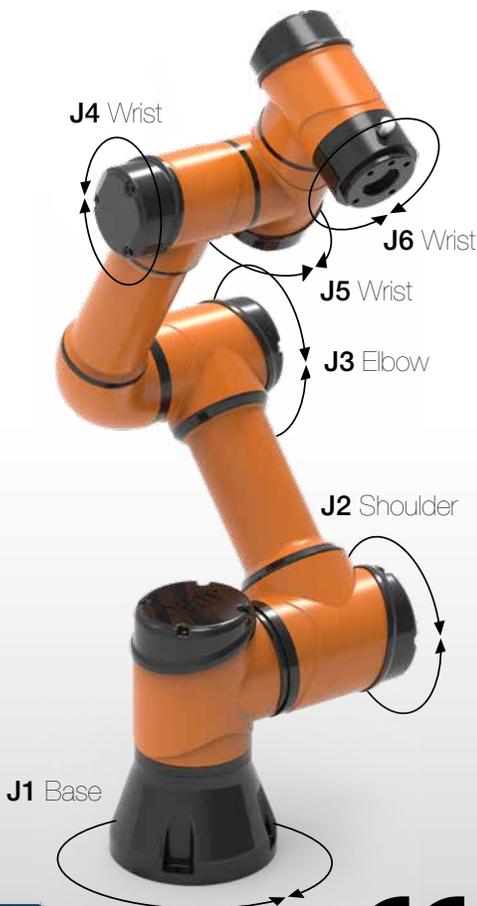


AUBO-i3

6 axis

3Kg payload

625mm reach



ROBOT SPECIFICATIONS

Degrees of Freedom	6 axes
Reach	625 mm
Payload	3 Kg
Weight	15.5 Kg
Lifetime	30000 h
Collaboration	Collaborative operation according to ISO 10218-1 :2001
Repeatability	+/- 0.03 mm
Linear Velocity	≤ 1.9 m/s
Power Consumption	150 W (under normal working conditions)
Materials	Aluminum, Steel, Plastic
Ambient Humidity	25% - 85%
Ambient Temperature	0 - 45° C
IP Classification	IP54
Programming	Teach pendant with user interface
Communication	CAN bus
Motor Type	DC 48 V
Installation Orientation	Any Ceiling, Floor, Wall

AXIS MOVEMENT

	WORKING RANGE	MAXIMUM SPEED
J1 axis rotation base	(+/-) 175°	180°/sec
J2 axis rotation shoulder	(+/-) 175°	180°/sec
J3 axis rotation elbow	(+/-) 175°	180°/sec
J4 axis wrist rotation	(+/-) 175°	180°/sec
J5 axis wrist swing	(+/-) 175°	180°/sec
J6 axis wrist rotation	(+/-) 175°	180°/sec

I/O PORT ON WRIST

Voltage	Current	Digital In	Digital out	Analog In	Analog Out
0/12/24 V	0.8 A	4	4	2	0

CONTROL BOX

Dimensions (LxWxH)	727x623x235 mm
Weight	5 Kg
Cabling	5 mm
Color	Black
Communication Interface	Ethernet, Modbus - RTU/TCP SDK (supports C/C++/Lua/Python) Supports ROS, API
Power supply	100 - 240 VAC, 50 - 60 Hz
IP Classification	IP54



I/O PORTS

	General I/O	Safety I/O
Digital in	16	16
Digital out	16	16
Analog In	4	-
Analog out	4	-
Power input	24 V	
Power output	3 A	

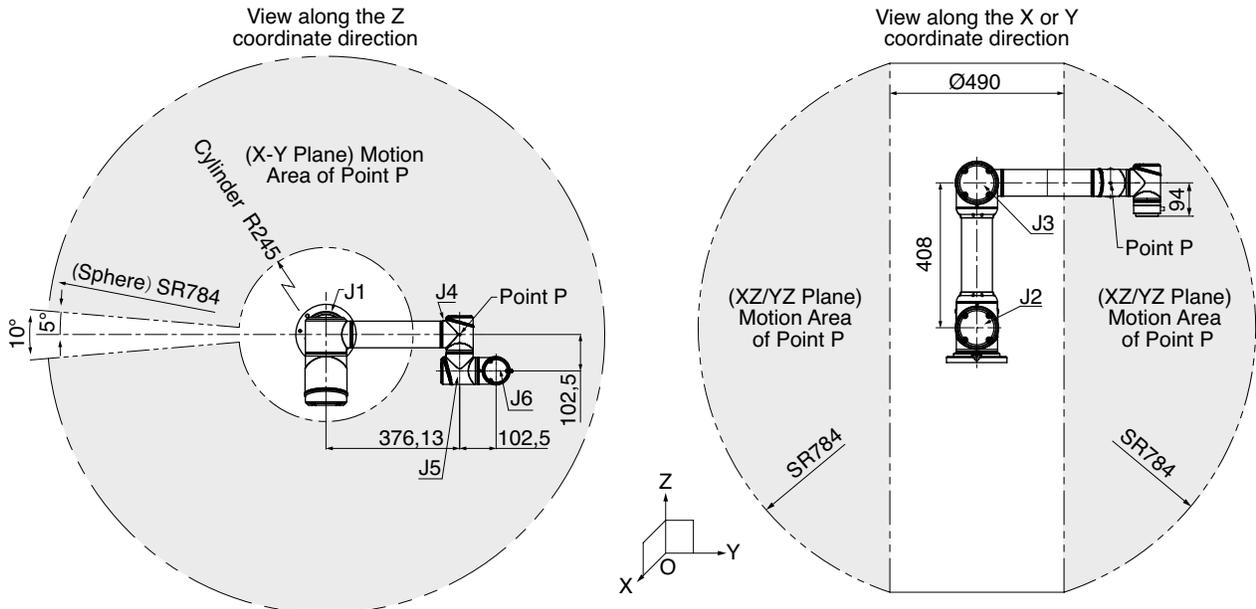
TEACH PENDANT

Dimensions (LxWxH)	355x235x54 mm
Weight	1.8 Kg
Display Screen	30 cm Touch LCD Screen
Cabling	4 m
IP Classification	IP54
Color	Orange



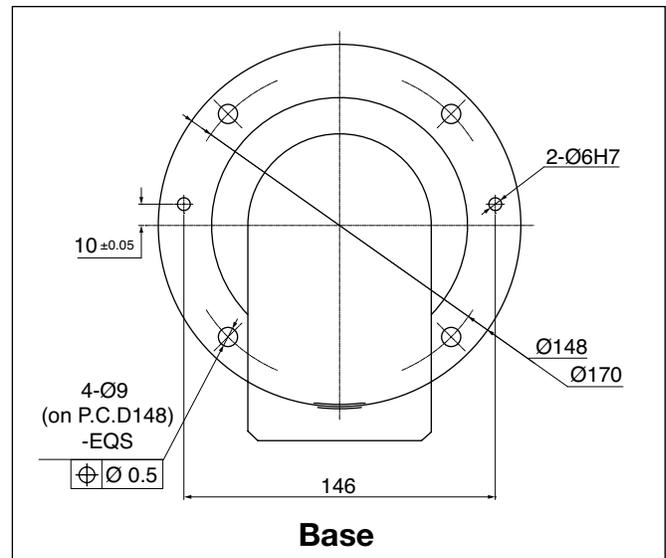
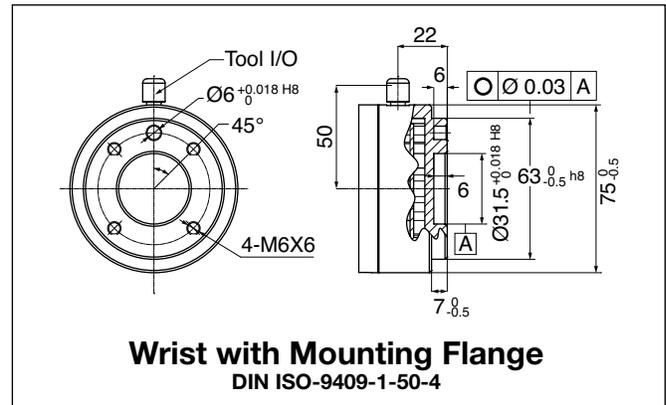
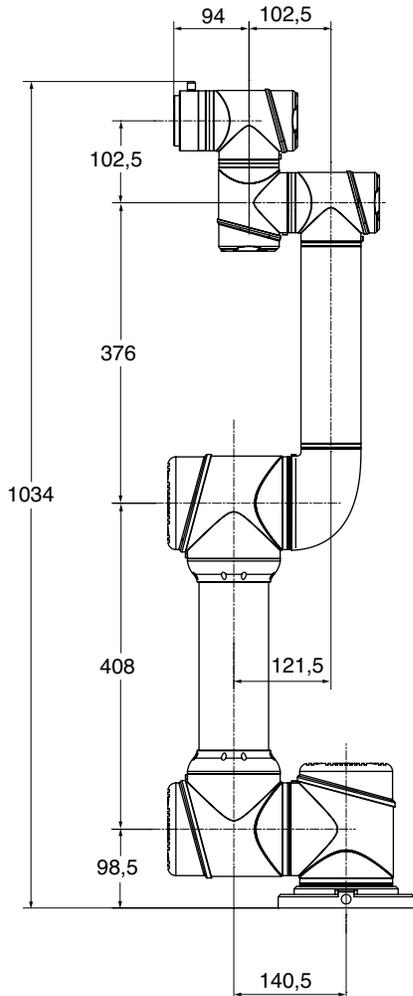
AUBO-i5 Collaborative Robot (Co-Bot)

Work Envelope-Range of Motion of the Point P



NOTE:

1. Double dotted line means regional boundaries
2. The trajectory of Point P may exceed the space area which contained by the double dotted line



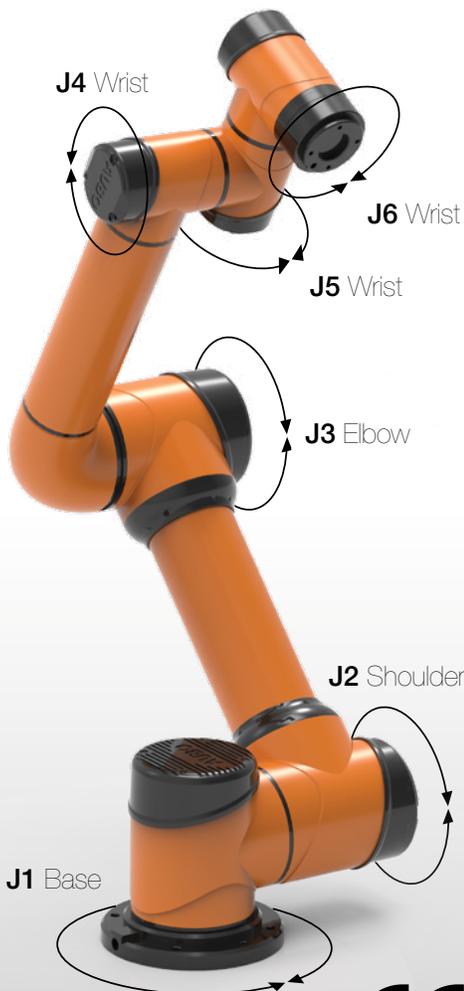


AUBO-i5

6 axis

5Kg payload

924mm reach



ROBOT SPECIFICATIONS

Degrees of Freedom	6 axes
Reach	924 mm
Payload	5 Kg
Weight	24 Kg
Lifetime	30000 h
Collaboration	Collaborative operation according to ISO 10218-1 :2001
Certification	Compliance with EU CE certification, North American certification, Korean KCs certification
Repeatability	+/- 0.05 mm
Linear Velocity	≤ 2.8 m/s
Power Consumption	200 W (under normal working conditions)
Materials	Aluminum, Steel, Plastic
Ambient Humidity	25% - 85%
Ambient Temperature	0 - 45° C
IP Classification	IP54
Programming	Teach pendant with user interface
Communication	CAN bus
Motor Type	DC 48 V
Installation Orientation	Any Ceiling, Floor, Wall

AXIS MOVEMENT

	WORKING RANGE	MAXIMUM SPEED
J1 axis rotation base	(+/-) 175°	150°/sec
J2 axis rotation shoulder	(+/-) 175°	150°/sec
J3 axis rotation elbow	(+/-) 175°	150°/sec
J4 axis wrist rotation	(+/-) 175°	180°/sec
J5 axis wrist swing	(+/-) 175°	180°/sec
J6 axis wrist rotation	(+/-) 175°	180°/sec

I/O PORT ON WRIST

Voltage	Current	Digital In	Digital out	Analog In	Analog Out
0/12/24 V	0.8 A	4	4	2	0

CONTROL BOX

Dimensions (LxWxH)	727x623x2 35 mm
Weight	20 Kg
Cabling	5 mm
Color	Black
Communication Interface	Ethernet, Modbus -RTU/TCP SDK (supports C/C++/Lua/Python) Supports ROS, API
Power supply	100 - 240 VAC, 50 - 60 Hz
IP Classification	IP54



I/O PORTS

	General I/O	Safety I/O
Digital in	16	16
Digital out	16	16
Analog In	4	-
Analog out	4	-
Power input	24 V	
Power output	3 A	

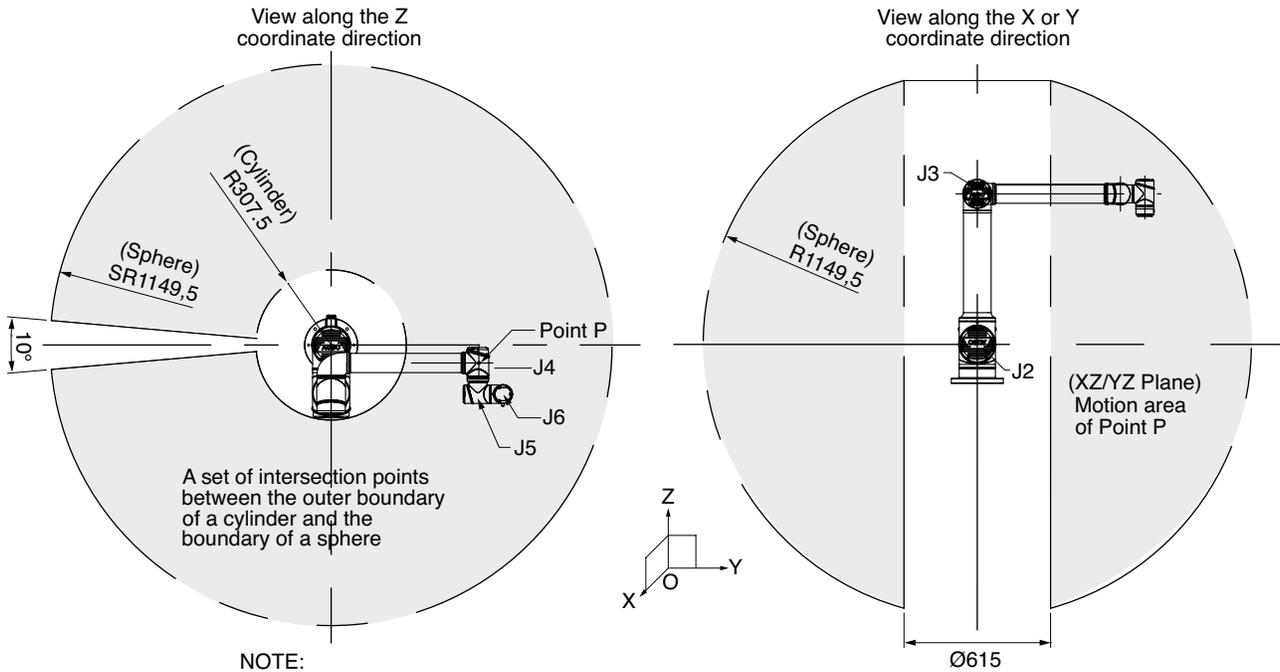
TEACH PENDANT

Dimensions (LxWxH)	355x235x54 mm
Weight	1.8 Kg
Display Screen	30 cm Touch LCD Screen
Cabling	4 m
IP Classification	IP54
Color	Orange



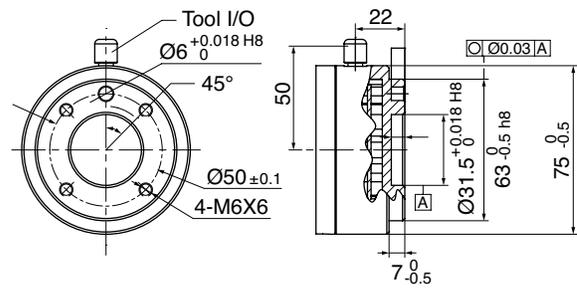
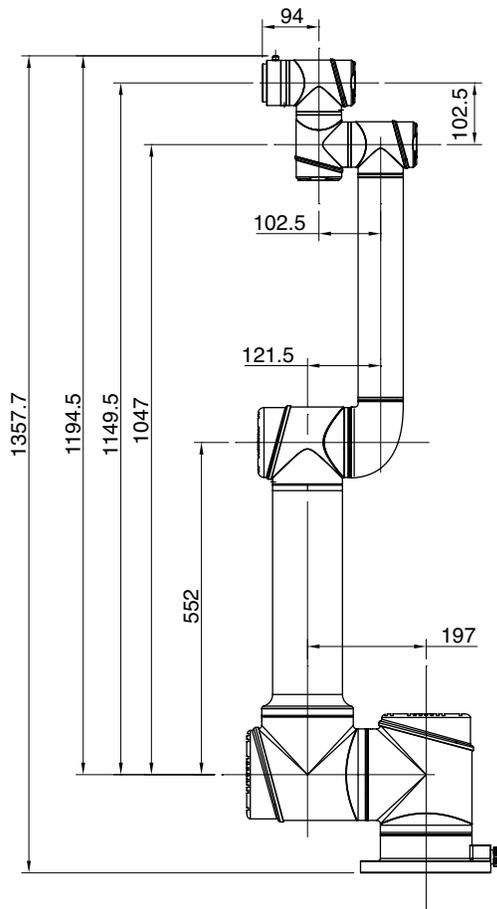
AUBO-i7 Collaborative Robot (Co-Bot)

Work Envelope-Range of Motion of the Point P

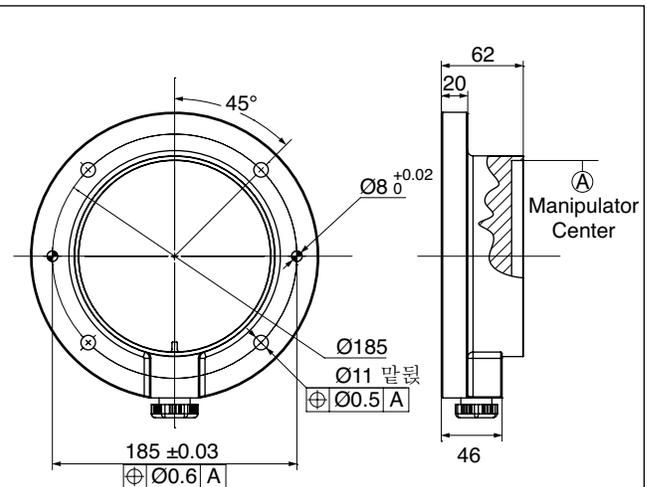


NOTE:

1. Double dotted ----- line means regional boundaries
2. The trajectory of Point P may exceed the space area which contained by the double dotted line



Wrist with Mounting Flange
DIN ISO-9409-1-50-4



Base

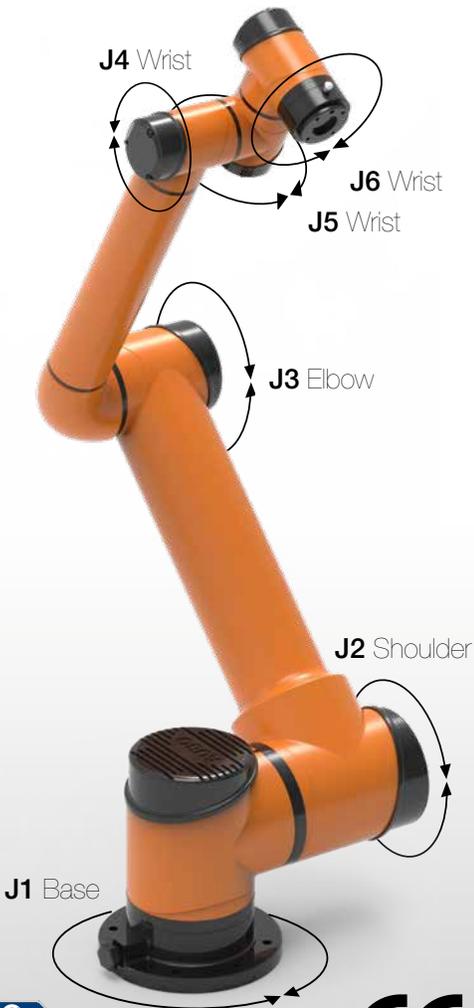


AUBO-i7

6 axis

7 Kg payload

1150 mm reach



ROBOT SPECIFICATIONS

Degrees of Freedom	6 axes
Reach	1150 mm
Payload	7 Kg
Weight	32 Kg
Lifetime	30000 h
Collaboration	Collaborative operation according to ISO 10218-1 :2001
Repeatability	+/- 0.05 mm
Linear Velocity	≤ 3.5 m/s
Power Consumption	400 W (under normal working conditions)
Materials	Aluminum, Steel, Plastic
Ambient Humidity	25% - 85%
Ambient Temperature	0 - 45° C
IP Classification	IP54
Programming	Teach pendant with user interface
Communication	CAN bus
Motor Type	DC 48 V
Installation Orientation	Any Ceiling, Floor, Wall

AXIS MOVEMENT

J1 axis rotation base	(+/-) 175°	180°/sec
J2 axis rotation shoulder	(+/-) 175°	180°/sec
J3 axis rotation elbow	(+/-) 175°	150°/sec
J4 axis wrist rotation	(+/-) 175°	180°/sec
J5 axis wrist swing	(+/-) 175°	180°/sec
J6 axis wrist rotation	(+/-) 175°	180°/sec

WORKING RANGE

MAXIMUM SPEED

I/O PORT ON WRIST

Voltage	Current	Digital In	Digital out	Analog In	Analog Out
0/12/24 V	0.8 A	4	4	2	0

CONTROL BOX

Dimensions (LxWxH)	727x623x235 mm
Weight	20 Kg
Cabling	5 mm
Color	Black
Communication	Ethernet, Modbus - RTU/TCP
Interface	SDK (supports C/C++/Lua/Python) Supports ROS, API
Power supply	100 - 240 VAC, 50 - 60 Hz
IP Classification	IP54



I/O PORTS

	General I/O	Safety I/O
Digital in	16	16
Digital out	16	16
Analog In	4	-
Analog out	4	-
Power input	24 V	
Power output	3 A	

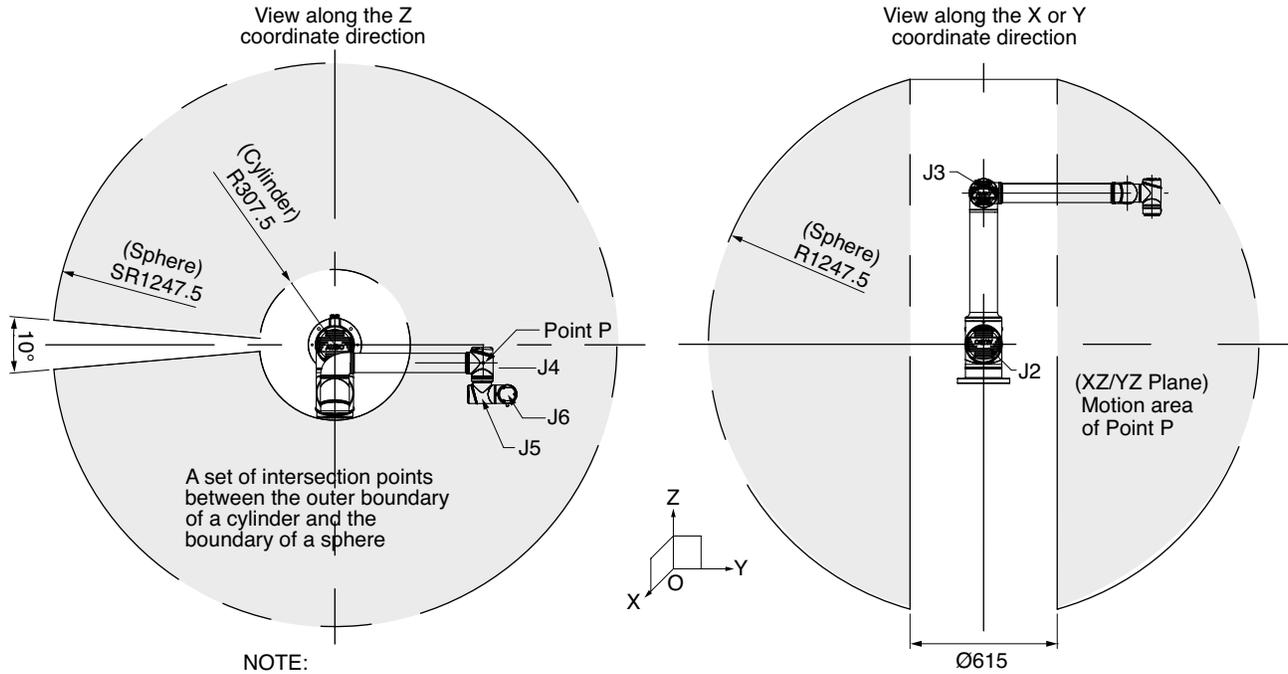
TEACH PENDANT

Dimensions (LxWxH)	355x235x54 mm
Weight	1.8 Kg
Display Screen	30 cm Touch LCD Screen
Cabling	4 m
IP Classification	IP54
Color	Orange



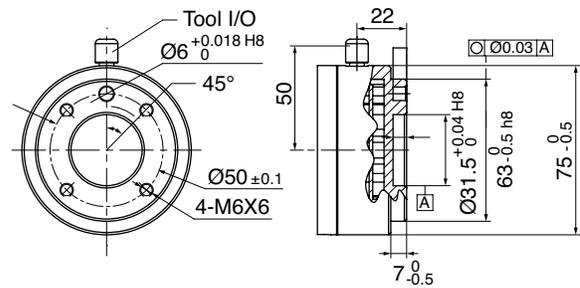
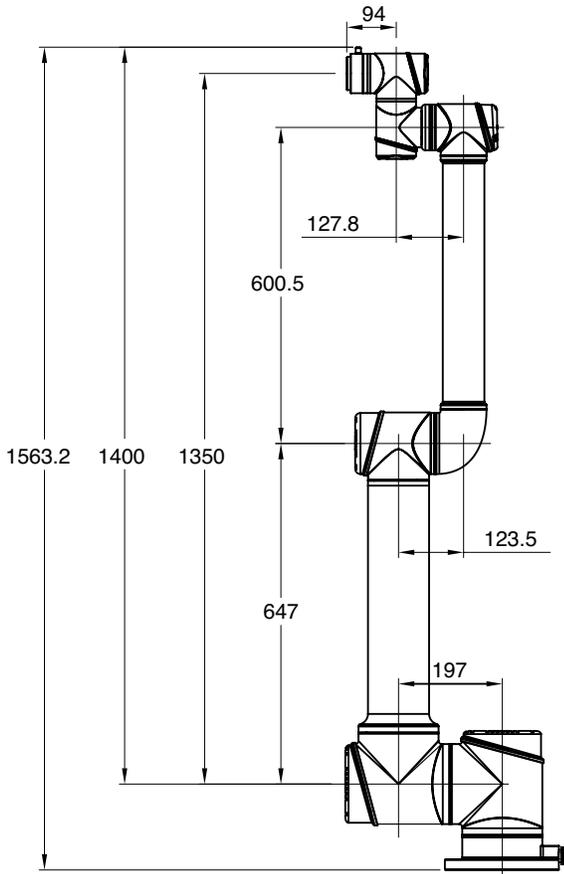
AUBO-i10 Collaborative Robot (Co-Bot)

Work Envelope-Range of Motion of the Point P

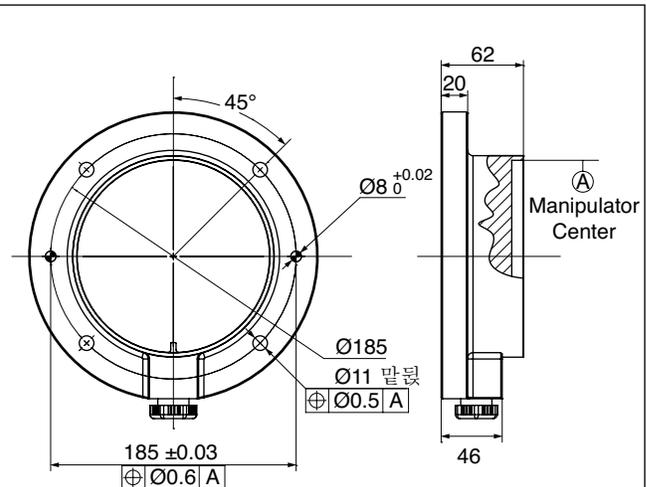


NOTE:

1. Double dotted - - - - line means regional boundaries
2. The trajectory of Point P may exceed the space area which contained by the double dotted line



Wrist with Mounting Flange
DIN ISO-9409-1-50-4



Base

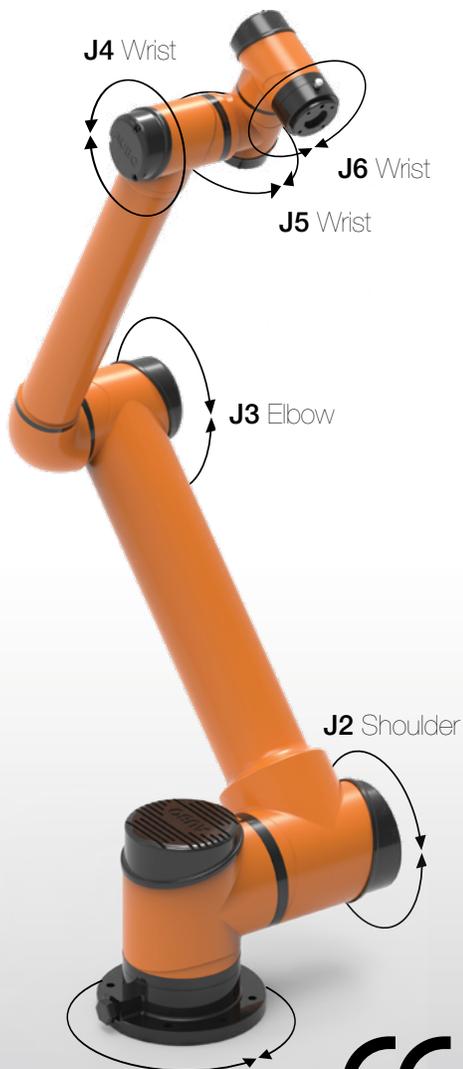


AUBO-i10

6 axis

10Kg payload

1350mm reach



ROBOT SPECIFICATIONS

Degrees of Freedom	6 axes
Reach	1350 mm
Payload	10 Kg
Weight	37 Kg
Lifetime	30000 h
Collaboration	Collaborative operation according to ISO 10218-1 :2001
Repeatability	+/- 0.05 mm
Linear Velocity	≤ 4.0 m/s
Power Consumption	500 W (under normal working conditions)
Materials	Aluminum, Steel, Plastic
Ambient Humidity	25% - 85%
Ambient Temperature	0 - 45° C
IP Classification	IP54
Programming	Teach pendant with user interface
Communication	CAN bus
Motor Type	DC 48 V
Installation Orientation	Any Ceiling, Floor, Wall

AXIS MOVEMENT

J1 axis rotation base	(+/-) 175°	180°/sec
J2 axis rotation shoulder	(+/-) 175°	180°/sec
J3 axis rotation elbow	(+/-) 175°	150°/sec
J4 axis wrist rotation	(+/-) 175°	180°/sec
J5 axis wrist swing	(+/-) 175°	180°/sec
J6 axis wrist rotation	(+/-) 175°	180°/sec

WORKING RANGE

MAXIMUM SPEED

I/O PORT ON WRIST

Voltage	Current	Digital In	Digital out	Analog In	Analog Out
0/12/24 V	0.8 A	4	4	2	0

CONTROL BOX

Dimensions (LxWxH)	727x623x235 mm
Weight	20 Kg
Cabling	5 mm
Color	Black
Communication	Ethernet, Modbus - RTU/TCP
Interface	SDK (supports C/C++/Lua/Python) Supports ROS, API
Power supply	100 - 240 VAC, 50 - 60 Hz
IP Classification	IP54



I/O PORTS

	General I/O	Safety I/O
Digital in	16	16
Digital out	16	16
Analog In	4	-
Analog out	4	-
Power input	24 V	
Power output	3 A	

TEACH PENDANT

Dimensions (LxWxH)	355x235x54 mm
Weight	1.8 Kg
Display Screen	30 cm Touch LCD Screen
Cabling	4 m
IP Classification	IP54
Color	Orange

