

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Stato dell'arte sui robot collaborativi a supporto della logistica



Relatrice: Anna Corinna Cagliano

Laureando: Otello Stefano Giardino

Aprile 2018

INDICE

<i>Introduzione</i>	1
CAPITOLO 1 Robotica industriale e collaborativa	3
1.1 Origini della robotica industriale.....	3
1.1.1 Definizione di robot industriale	5
1.1.2 Caratteristiche di un robot industriale	6
1.1.3 Organi sensori.....	8
1.1.4 Organi attuatori.....	14
1.1.5 Gradi di libertà.....	16
1.1.6 Classificazione dei robot industriali.....	21
1.1.7 Ambiti di utilizzo dei robot industriali	22
1.2 Industria 4.0	33
1.2.1 Cosa sono i robot collaborativi	37
1.2.2 Caratteristiche di un robot collaborativo.....	39
1.2.3 Ambiti di utilizzo dei robot collaborativi.....	45
CAPITOLO 2 Robot fissi legati ad una postazione di lavoro	47
2.1 ABB YuMi.....	48
2.1.1 Applicazione YuMi	49
2.2 FANUC CR-4 <i>i</i> A, CR-7 <i>i</i> A, CR-7 <i>i</i> A/L, CR-35 <i>i</i> A.....	50
2.2.1 Applicazioni FANUC.....	52
2.3 UNIVERSAL ROBOTS UR3, UR5, UR10.....	56
2.3.1 Applicazioni UNIVERSAL ROBOTS.....	57
2.4 YASKAWA Motoman HC 10	65
2.4.1 Applicazioni Yaskawa.....	66
2.5 KUKA LBR iiwa	68

2.5.1 Applicazioni KUKA.....	69
2.6 RETHINK ROBOTICS BAXTER E SAWYER.....	71
2.7 COMAU NJ4, RACER 3	73
2.7.1 Applicazioni AURA	76
2.8 Sintesi delle caratteristiche dei cobots	80
CAPITOLO 3 Robotica collaborativa per la movimentazione:	83
AUTOMATIC GUIDED VEHICLE (AGV).....	83
3.1 Gli AGV in un contesto moderno	83
3.2 ALUMOTION	87
3.3 BITO ITALIA.....	91
3.4 INDEVA	95
3.5 Linde Material Handling Italia	98
3.6 OMRON.....	101
3.7 SWISSLOG	104
3.7.1 Il sistema CarryPick	104
3.7.2 Il sistema ACPaQ	106
3.7.3 Il sistema AutoPiQ	108
3.8 Classificazione dei robot collaborativi e degli AGV	110
CAPITOLO 4 Sicurezza e scelta dei robot collaborativi.....	114
4.1 Analisi qualitativa di profittabilità	114
4.2 Produttività e valore.....	116
4.3 Ergonomia.....	117
4.4 Ottimizzazione dello spazio di fabbrica.....	117
4.5 Spazio collaborativo	117
4.6 Modificabilità degli spazi collaborativi	118
4.7 Sicurezza nella collaborazione uomo-robot.....	118

4.7.1 Modalità collaborative.....	122
CAPITOLO 5 Evoluzione del processo logistico con la robotica collaborativa.....	125
5.1 Esoscheletri.....	128
5.2 La robotica nella logistica	129
5.3 Distribution Center con la robotica tradizionale.....	130
5.3.1 Distribution Center con la robotica collaborativa.....	133
5.4 Sorting Center con la robotica tradizionale.....	137
5.4.1 Sorting Center con la robotica collaborativa	138
CAPITOLO 6 Conclusioni	140
BIBLIOGRAFIA	142
SITOGRAFIA.....	145

Introduzione

L'obiettivo del lavoro di tesi è tracciare una panoramica sullo stato dell'arte della robotica collaborativa a supporto dei processi logistici.

Si è deciso di approfondire i robot collaborativi nel settore della logistica perché oggi l'e-commerce sta determinando una crescita esponenziale della richiesta di manodopera e di risorse specializzate. Le vendite online necessitano solitamente di raccogliere e confezionare i prodotti singolarmente e devono essere spediti separati e consegnati direttamente nelle case dei clienti. Una soluzione pratica potrebbe arrivare dall'utilizzo di robot durante tutte le varie fasi della catena logistica, dallo smistamento alla consegna della merce. Si potrebbero applicare robot per carico e scarico dei veicoli e dei container, operazioni che oggi, per le merci non pallettizzate, vengono realizzate quasi sempre manualmente. Si è ritenuto utile quindi analizzare i vari modelli esistenti di robot collaborativi con le loro applicazioni per capire dove è possibile introdurli in contesti in cui si preferisce il lavoro manuale.

All'interno dell'elaborato sarà spiegato come i robot collaborativi possano portare benefici in termini di produttività, efficienza e maggior sicurezza per l'operatore nei diversi settori in cui vengono utilizzati. Per iniziare la trattazione della robotica collaborativa si è ritenuto necessario descrivere nel primo capitolo la robotica industriale. La comparsa dei primi robot industriali avviene intorno agli anni Settanta. Sono strutture d'acciaio con motori idraulici lenti e imprecisi. Il mondo automotive è sempre stato il primo settore di utilizzo dei robot principalmente in applicazioni in cui l'uomo operava in condizioni di pericolo e grande fatica fisica dove i robot industriali erano chiusi in una gabbia meccanica per proteggere gli operatori. Per più di 40 anni infatti l'attenzione dei progettisti si è rivolta principalmente alla sicurezza, separando l'uomo e la macchina con mezzi quasi esclusivamente meccanici. Nel secondo capitolo si andrà ad analizzare una situazione in divenire che sta evidenziando l'imporsi di una ulteriore nuova categoria di robot, i Cobot, o

Robot Collaborativi, concepiti per interagire fisicamente con gli umani in un ambiente condiviso, a differenza di altri robot che operano autonomamente, come da precedente definizione, ma in spazi confinati e protetti. Si andranno ad analizzare tutti i principali produttori di robot industriali che si sono lanciati nello sviluppo di queste macchine collaborative e nuove aziende che si sono affacciate al mercato, come ad esempio COMAU, YASKAWA, ABB, KUKA, FANUC, RETHINK ROBOTICS e UNIVERSAL-ROBOTS. Nel capitolo tre si andranno a descrivere una serie di Automatic Guided Vehicle (AGV) con le principali applicazioni e caratteristiche collaborative. Nel capitolo successivo il discorso si sposterà sulla sicurezza dei robot collaborativi con i rispettivi standard e normative di sicurezza. Nel quinto capitolo verranno individuati i punti per cui la robotica collaborativa potrebbe portare miglioramenti in un centro di distribuzione e di smistamento come ad esempio maggiore sicurezza per gli operatori e maggiore produttività dei centri. Infine, grazie ad una classificazione dei principali robot collaborativi ed AGV è stato possibile individuare per quali tipi di applicazioni le aziende sono propense a sviluppare i diversi modelli e quindi dove la domanda di mercato è maggiormente concentrata.

CAPITOLO 1

Robotica industriale e collaborativa

1.1 Origini della robotica industriale

Il termine robot deriva dal cecoslovacco “robotnik”, che letteralmente significa “lavoratore forzato”, “schiavo” o “servo”. Tra la fine degli anni '50 e gli inizi degli anni '60 inizia la vera storia dei robot, e questo termine abbandona una accezione letteraria per assumerne una tecnica ed industriale. Il primo robot industriale fu prodotto dalla società statunitense Unimation Inc. presso gli impianti della General Motors per il trattamento di parti realizzate in pressofusione con lo scopo di sostituire l'uomo in questo pericoloso ed insalubre lavoro (esposizione ad elevate temperature, rischio di essere colpiti da spruzzi bollenti di metallo fuso, inalazione di fumi nocivi). Il compito di questo robot, denominato Unimate, era appunto quello di assistere una macchina per la pressofusione, estrarne i getti di metallo ad altissima temperatura ed immergerli in bagno d'acqua per farli raffreddare.

Il robot ha avuto la sua piena diffusione in ambito industriale a partire dagli anni '70: le grandi case automobilistiche statunitensi (General Motors, Ford, Chrysler) furono le prime a servirsi dei robot per la produzione; essi erano addetti alla saldatura e verniciatura delle scocche ed alla movimentazione di pezzi. L'altra industria statunitense leader nell'adozione dei robot all'interno del processo produttivo fu quella elettromeccanica. A metà degli anni '70 entrarono nell'industria robotica grandi aziende, come le statunitensi Cincinnati Milacron, Adept, IBM, AMF, la francese ACMARenault, l'italiana COMAU-Fiat, le tedesche Kuka e Volkswagen, le nipponiche Fanuc, Yaskawa, Seiko. Ma è tra la fine degli anni '70 e gli inizi degli anni '80, che i robot vennero ad essere apprezzati anche fuori dell'industria automobilistica

ed elettromeccanica e che furono introdotti in modo massiccio in tutti gli altri processi industriali. (Minsky, 1987)

I robot industriali possono essere classificati in tre stadi temporali evolutivi, ossia in tre fasi storiche, a seconda del grado di tecnologia che utilizzano per operare. Si possono distinguere così tre generazioni di robot:

- I robot della prima generazione sono quelli introdotti all'inizio degli anni '60. Essi erano in grado di compiere operazioni di carico/scarico di macchine utensili o semplici operazioni di manipolazione di pezzi e materiali. Tali robot erano progettati per ripetere una successione di operazioni predeterminate, indipendentemente dai cambiamenti dell'ambiente circostante.
- I robot della seconda generazione sono stati introdotti negli anni '70. Essi erano in grado di svolgere compiti più complessi quali saldature a punto, verniciatura, taglio, foratura. Avevano elementari capacità di comunicare con l'ambiente circostante: erano infatti dotati di capacità sensoriali, grazie a sensori che trasmettevano informazioni relative alla presenza, alla posizione e all'orientazione di oggetti circostanti. Queste macchine rispetto alle precedenti avevano in tal senso una maggiore conoscenza dell'ambiente.
- I robot della terza generazione sono stati introdotti negli anni '80. Sono in grado di svolgere operazioni altamente sofisticate come le operazioni di assemblaggio, la saldatura ad arco adattiva, le ispezioni tattili, la prova di componenti e prodotti, lavorazioni complesse di trasformazione di pezzi, ecc. Inoltre sono in grado di regolare adattivamente i propri movimenti e di compensare i cambiamenti di posizione ed orientamento dei pezzi, cioè sono robot capaci di accorgersi di eventuali cambiamenti esterni potendo così modificare le loro azioni in modo corretto.
- E' possibile individuare anche una quarta generazione di robot, che sono quelli attualmente in fase di sviluppo. Questi robot

saranno in grado di prendere decisioni in modo totalmente indipendente sulla base di eventi e regole (la cosiddetta intelligenza artificiale), al fine di eseguire compiti più complessi. In questi robot si cerca di realizzare anche una raffinata facoltà sensoriale, in modo tale da raggiungere la vera coordinazione occhio-mano propria dell'uomo. E' inoltre probabile che i robot della quarta generazione saranno delle apparecchiature non metalliche in quanto la condivisione del lavoro tra robot ed operatore richiederà maggiore sicurezza. Si tratta dei cosiddetti robot collaborativi. La trattazione di questa generazione di robot sarà approfondita nei prossimi capitoli. (Isidori, 1986)

1.1.1 Definizione di robot industriale

Un robot è un sistema meccanico-elettronico nel senso che è formato sia da elementi meccanici sia da componenti elettronici. E' bene ricordare che i primi robot, cioè quelli di prima generazione, erano esclusivamente meccanici. In seguito l'avvento della micro-elettronica, con il transistor (transistor) ed il circuito integrato miniaturizzato (micro-chip), ha reso possibile la realizzazione di robot come sistemi mecano-elettronici (robot di seconda e terza generazione), dotati di sensori, che permettono alla macchina di interfacciarsi con l'ambiente di lavoro circostante, e di una elettronica di controllo (calcolatore), che governa il sistema.

Un robot è un manipolatore nel senso che è orientato alla movimentazione di parti, materiali o utensili nelle attività produttive di tipo discreto (nelle quali cioè vengono trattati oggetti individuali e numerabili). I robot cercano di riprodurre la funzionalità degli arti umani superiori in quanto presentano più gradi di libertà. Un robot ha l'aspetto di un braccio (o più bracci) che termina con un polso ed un organo di presa, tutti più o meno articolati ed estendibili. Inoltre è in grado di apprendere un ciclo di lavoro in quanto è programmabile, ed una volta programmato può effettuare autonomamente la medesima funzione in modo ripetitivo.

Un robot opera sotto il comando di una unità di controllo, dotata di un dispositivo di memoria, ossia l'unità di controllo è il cervello elettronico del robot ed è responsabile della gestione del movimento del robot. Tale unità di controllo è dotata di una memoria dove viene inserito ed immagazzinato il programma di istruzioni relativa alla specifica lavorazione (Calda e Alessandroni, 1988).

1.1.2 Caratteristiche di un robot industriale

Un robot industriale è fisicamente composto da due unità:

- 1) una unità meccanica addetta materialmente alla lavorazione;
- 2) una unità elettronica di programmazione e controllo.

La prima unità è detta manipolatore. Tale manipolatore ha una forma tipicamente antropomorfa (Figura 1.1) cioè rassomigliante agli arti superiori dell'uomo. E' possibile definirlo come una sequenza di segmenti rigidi, o link, connessi da giunti rotatori o di traslazione (catena cinematica) attuati da un motore. Il giunto è un insieme di due superfici che slittano l'una sull'altra rimanendo a contatto. La coppia giunto-link rappresenta il grado di libertà del robot. Vi sono due tipi di giunti: quelli prismatici, il cui moto è una traslazione, e quelli rotativi o anche detti rotoidali il cui moto è una rotazione. Vi sono anche giunti sferici ed elicoidali che possono essere considerati come opportune combinazioni di giunti prismatici e rotativi.

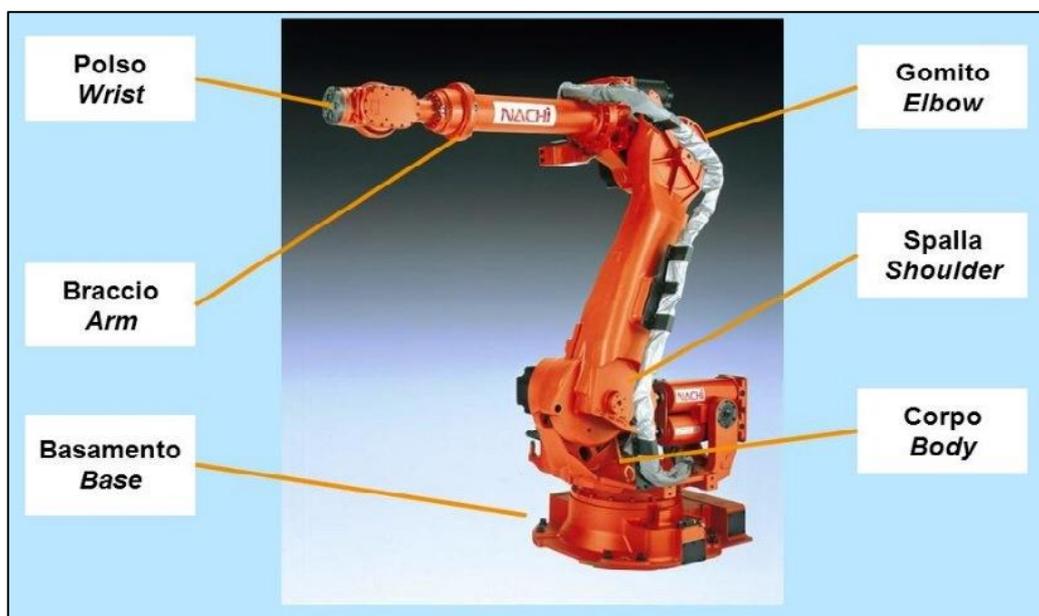


Figura 1.1: Parti di un robot industriale (Calda e Alessandroni, 1988)

Esso è costituito nella sua struttura da:

- *base*, che è il supporto fisso, ancorato nel terreno, intorno al quale si muove il robot (robot fisso); in alcuni casi il piede può essere montato su una rotaia (disposta al suolo o in posizione aerea), lungo la quale si muove il robot (robot mobile);
- *braccio* che è il meccanismo composto da una catena cinematica di elementi rigidi collegati in serie da snodi a traslazione o a rotazione;
- *spalla*, che è la prima articolazione del braccio;
- *gomito*, che è la seconda articolazione del braccio;
- *polso*, che è l'articolazione finale del braccio e che serve ad orientare il sotto indicato terminale;
- *terminale*, che è il generico dispositivo fissato all'estremità del polso e che serve per effettuare il lavoro cui il robot è deputato. Il terminale può essere costituito da un organo di presa (Figura 1.2) cioè un dispositivo specializzato per afferrare e trattenere oggetti: una mano dotata di due o più dita meccaniche, una pinza, delle ventose, degli organi elettromagnetici, ecc. o da un utensile (una sega circolare, un trapano, ecc.) o da uno strumento di misura



(della temperatura, della pressione, ecc), in funzione delle mansioni cui il robot è adibito.

Figura 1.2: Terminale (Comagni, 1988)

L'unità meccanica è dotata di:

- organi sensori, che permettono al robot di entrare in contatto con l'ambiente circostante e di raccogliere informazioni esterne (dunque i sensori svolgono la funzione di unità di entrata dati);
- organi attuatori, che trasmettono la forza e il movimento al manipolatore, in relazione ai dati esterni raccolti dai sensori (dunque gli attuatori svolgono la funzione di unità di uscita dati). I sensori e gli attuatori completano l'unità meccanica e rappresentano la periferia del robot (Isidori, 1986).

1.1.3 Organi sensori

I sensori sono i congegni che permettono al robot di interpretare e di entrare in rapporto con l'ambiente esterno. Essi trasmettono al robot informazioni sullo stato dell'ambiente di lavoro e del ciclo di lavorazione come ad esempio informazioni riguardanti la presenza, l'identità, la forma, la posizione, l'orientazione, la superficie, l'interno del pezzo da lavorare o movimentare; la presenza di attrezzature o altre macchine che si trovano ad operare nel suo campo d'azione ecc. In altre parole, i sensori svolgono per il robot le stesse funzioni cui sono deputati i cinque sensi nel corpo umano, consentendo alla macchina una percezione esterna e permettendogli di avere una certa intelligenza dello scenario ambientale circostante. E' comunque da precisare che non tutti i robot sono dotati di sensori: generalmente i robot provvisti di capacità sensoriali sono quelli adibiti alle operazioni più complesse (assemblaggio, saldatura ad arco, ispezione per la verifica di difetti di fabbricazione del prodotto, sbavatura, ecc.), la cui esecuzione richiede necessariamente la percezione dello scenario ambientale. Infatti equipaggiare un robot con un sistema sensoriale implica un aggravio di costi, per cui i dispositivi sensoriali risultano essere economicamente inopportuni su un robot che deve svolgere compiti relativamente semplici (movimentazione di pezzi, saldatura a punti, ecc.) e che pertanto non ha la necessità di interagire con l'ambiente di lavoro.

E' possibile classificare i sensori per robot in due categorie:

- *sensori di contatto*, che rilevano la presenza dell'oggetto mediante un certo tipo di contatto fisico. Rientrano in questa categoria i sensori di tatto e di forza;
- *sensori di non-contatto*, che rilevano la presenza dell'oggetto mediante un certo tipo di radiazione (luminosa, magnetica, sonora, ...). Rientrano in questa categoria i sensori di prossimità e di visione.

I sensori di tatto permettono al robot di riconoscere il pezzo con un'esplorazione tattile. Vengono solitamente montati sulla faccia interna degli organi di presa del braccio del robot: tali sensori rilevano la presenza o l'assenza di un oggetto tra le articolazioni che effettuano la presa. Si tratta generalmente di micro-interruttori: se l'organo di presa esercita sull'oggetto da afferrare una forza superiore ad un certo livello, detto livello soglia, il micro-interruttore chiude un circuito elettrico, fornendo così al sistema l'informazione tattile. L'informazione che può essere ottenuta da sensori di questo tipo è limitata se è necessario acquisire indicazioni sulla forma, sulla posizione e sull'orientamento dell'oggetto. In questo caso bisogna utilizzare dispositivi più complessi, come per esempio un dispositivo a conduttori elettrici: questo sensore è composto da una basetta sulla quale sono disposti dei conduttori elettrici in rame e in grafite. Una pressione sul sensore determina una variazione proporzionale della resistenza elettrica di tali conduttori, per cui è possibile risalire alle condizioni di contatto. Questo sensore, la cui area è dell'ordine di un centimetro quadrato, ha un potere tattile molto vicino a quello dei polpastrelli delle dita, realizzando così una sorta di pelle artificiale. Un altro sensore di tatto che offre informazioni sulla forma e sull'identità dell'oggetto è un sensore a bottoni: la superficie di contatto dell'organo di presa viene sagomata a bottoni; un bottone, a contatto con un oggetto, rientra ed interrompe parzialmente o totalmente il flusso luminoso tra due fotocellule; la misura del flusso luminoso consente di risalire alle deformazioni superficiali, quindi alla forma dell'oggetto.

Oggi si tende a dotare i sensori di tatto di un micro-processore locale per elaborare sul posto i dati da essi percepiti: questa soluzione permette una analisi più tempestiva dei segnali sensoriali, dato che il computer tecnicamente superiore viene esonerato dall'elaborazione di tali informazioni e quindi alleggerito di una parte di operazioni da svolgere. Il micro-processore locale, infatti, rispetto all'elaboratore centrale, è in grado di elaborare le informazioni sensoriali più velocemente, poiché è deputato a svolgere solo quella funzione.

I sensori di forza sono particolarmente importanti quando è necessario un accurato dosaggio della forza da parte della mano del robot, ossia quando la mano deve eseguire compiti delicati quali: la presa di oggetti fragili (es., vetro, ceramica), l'introduzione di parti entro alloggiamenti prestabiliti con tolleranze limitate (es., l'avvitamento di una vite nel suo alloggiamento senza spanare la filettatura), ecc. La misura della forza, di solito, viene ottenuta disponendo degli estensimetri a semiconduttore sui giunti del polso: se il polso è sottoposto a sforzi allora i suoi giunti si deformano; tale deformazione (che è proporzionale alla forza trasmessa) genera una variazione (proporzionale) della resistenza elettrica del materiale conduttore presente negli estensimetri, essendo così possibile risalire alla misura della forza.

Come nel caso dei sensori di tatto, anche per i sensori di forza la tendenza attuale è quella di impiegare micro-processori locali per l'elaborazione in loco delle informazioni raccolte, al fine di rendere più tempestiva la codificazione di tali informazioni.

Un sensore di prossimità permette di rilevare la distanza esistente tra un oggetto (che si trova in prossimità del sensore) e il sensore stesso. Sensori di prossimità comunemente utilizzati in robotica sono i sensori ad ultrasuoni (radiazioni sonore). Tale sistema sensoriale è composto da un fischiello, che emette in continuazione degli ultrasuoni, e da una cellula sonora ricevente, che rileva gli echi di ritorno che tali ultrasuoni producono colpendo gli oggetti circostanti; il tempo intercorrente tra l'istante di emissione e quello di ricezione è proporzionale alla distanza che si vuole conoscere. Questo tipo di sistema sensoriale riproduce il meccanismo di percezione delle distanze

riscontrabile in talune specie animali: il caso più noto è, per es., quello del pipistrello e del delfino, che sono in grado di rilevare, con buona approssimazione, i valori relativi alla distanza grazie ad una percezione attiva della distanza stessa, emettendo appunto onde sonore. I sensori ad ultrasuoni vengono generalmente impiegati nei robot semoventi, allo scopo di rilevare la presenza più che altro di ostacoli, o comunque di oggetti di disturbo con cui si deve evitare una collisione (dunque, sostanzialmente, per motivi di sicurezza). Esistono, poi, anche sensori al laser (radiazioni al laser): essi sono composti da un analizzatore laser, che emette un sottile raggio laser, e da una fotocellula ricevente, che rileva il raggio laser riflesso dagli oggetti da esso colpiti. Per individuare la presenza di un oggetto e la relativa distanza si procede, come prima, alla misura del tempo intercorrente tra istante di emissione del raggio luminoso ed istante di ricezione del raggio riflesso (calcolo del tempo di volo della luce). Sono utilizzati anche sensori magnetici (radiazioni magnetiche), che vengono tipicamente impiegati per rilevare la presenza di oggetti metallici. Tali sensori generano un campo magnetico, e contengono al loro interno un dispositivo che misura le alterazioni prodotte in detto campo da corpi ferromagnetici estranei. Dalle misure così effettuate si può risalire alla distanza del sensore dall'oggetto rilevato. Una tipica applicazione di questa tipologia di sensori è quella dell'individuazione di buchi e fori nelle superfici lisce, in certe operazioni di assemblaggio. Inoltre, sono comunemente utilizzati sensori ad intercettazione di getto luminoso (radiazioni luminose). In questi dispositivi, la presenza di un oggetto intercetta un getto luminoso passante, emesso da un diodo emettitore di luce (LED). Così il getto luminoso si interrompe provocando un segnale elettrico, che indica al robot la presenza dell'oggetto. Si tratta di sensori molto semplici e versatili. Sono spesso utilizzati per individuare il passaggio di oggetti. Infine, sono da ricordare i sensori a triangolazione ottica (radiazioni luminose), tipicamente utilizzati sui robot di ispezione e controllo, per individuare eventuali difetti dimensionali e di superficie dell'oggetto: una sorgente di luce illumina l'oggetto sottoposto a controllo; la luce riflessa dalla superficie di questo viene captata da un

fotocellula ricevente; tale riflessione della luce viene poi misurata mediante tecniche di triangolazione ottica, basate su relazioni trigonometriche. In base al calcolo della triangolazione della luce è possibile verificare se l'oggetto presenta dei difetti.

I dispositivi di acquisizione di immagini generalmente utilizzati nella robotica sono le telecamere. Quelle più diffuse sono:

- *la telecamera vidicon* che funziona su principi abbastanza simili a quelli delle telecamere per le normali riprese televisive;
- *la telecamera a stato solido*.

La telecamera di tipo vidicon deriva il suo nome da vid-eo e da sil-icon (= silicio): il suo schermo è infatti composto da materiale contenente silicio. Tale schermo è carico di elettricità statica. L'oggetto d'interesse viene irradiato con energia luminosa (proveniente da una sorgente di luce), e la luce riflessa dalla superficie dell'oggetto va a colpire lo schermo della telecamera. L'illuminazione dello schermo provoca una diminuzione della carica elettrica in ogni punto dello stesso. Ciò realizza sullo schermo un primo equivalente elettronico dell'immagine (in termini di valori di carica elettrica per ogni punto sullo schermo). L'immagine elettrostatica così ottenuta viene sottoposta ad elaborazioni successive, finché il suo equivalente elettronico viene trasformato in equivalente numerico (procedimento di digitalizzazione dell'immagine), di modo che il micro-processore possa elaborarlo per risalire alla forma dell'oggetto osservato. Nelle telecamere allo stato solido l'elemento sensibile è costituito da fotodiodi, che si trovano sullo schermo su cui viene focalizzata l'immagine e che si caricano elettricamente se colpiti da radiazioni luminose. Questi diodi fotosensibili fanno parte di un circuito integrato semiconduttore, in cui è svolto il procedimento di digitalizzazione. Il circuito integrato, anziché fotodiodi, può contenere, come elemento sensibile, anche particolari sensori chiamati dispositivi ad accoppiamento di carica ossia Charge Coupled Device (CCD). Il vantaggio dei CCD è quello di essere estremamente veloci. Le telecamere a stato solido di tipo CCD, rispetto a quelle vidicon, sono più affidabili (ma più costose) in quanto: sono insensibili

ai campi elettromagnetici (che possono generare interferenze di disturbo), sono resistenti ad urti e vibrazioni, hanno una lunga durata. I sistemi di visione appena descritti forniscono un'immagine spaziale bidimensionale; la soluzione più interessante al problema della visione tridimensionale è quella basata sull'impiego di due telecamere (anch'esse con schermi sensibili), in analogia a quanto avviene nella visione umana (ottenuta coi due occhi). Un sistema visivo che impiega una coppia di telecamere viene detto di stereo-visione. Tale sistema dev'essere supportato da una adeguata illuminazione, per favorire al meglio l'acquisizione dell'immagine. Un approccio di questo tipo è più complicato rispetto ai dispositivi di visione a due dimensioni, ma è certamente quello in grado di fornire informazioni più complete. E' da ricordare, infine, che sono state realizzate anche telecamere piroelettriche, capaci di percepire immagini della temperatura: tale prestazione è utile qualora si richieda la rilevazione della temperatura, specialmente in ambienti in cui la presenza dell'uomo risulti indesiderata causa le temperature troppo elevate. Bisogna sottolineare che i robot dotati di telecamere per la visione devono disporre, per poter duplicare in forma numerica le immagini rilevate, di una capacità di calcolo molto elevata, cioè devono essere provvisti di:

- *una memoria molto capiente* perché la quantità delle informazioni da recepire è notevole: lunghezza, larghezza, altezza, luminosità, direzione dell'oggetto osservato;
- *un processore molto veloce* perché le informazioni devono essere elaborate in modo tempestivo, in tempo reale; si deve infatti considerare che una telecamera riprende almeno 60 immagini al secondo e che questi dati arrivano all'unità di controllo con una frequenza di circa 4 milioni di pixel al secondo.

Tra l'altro, la tendenza attuale è quella di equipaggiare i robot forniti di telecamere con software dedicati per la visione, al fine di supportare il processore in una elaborazione più rapida delle immagini.

I sistemi di visione vengono particolarmente utilizzati sui robot addetti alle operazioni di assemblaggio, i quali devono essere in grado di riconoscere più

oggetti componenti estremamente diversi tra loro per forma e dimensioni. Tra tutti i dispositivi sensoriali, quelli di visione sono i più complessi e costosi; la loro utilità è tuttavia innegabile (tra i cinque sensi, la vista è quello che offre una maggiore densità e vastità di informazioni) (Melchiorri, 2002).

1.1.4 Organi attuatori

Gli attuatori sono i meccanismi atti a realizzare il movimento del braccio robotico secondo i suoi gradi di libertà, attraverso l'azionamento e il controllo dei giunti. Gli attuatori si trovano in prossimità dei giunti: vi è un attuatore per ogni giunto ossia per ogni grado di libertà. Ogni attuatore è formato da due parti:

- *un dispositivo di azionamento*, che trasforma l'energia disponibile in energia meccanica (solitamente posizionato all'esterno del braccio);
- *un dispositivo di regolazione*, che controlla le variabili del moto ossia la velocità, la accelerazione, la forza e la posizione dell'articolazione (solitamente posizionato all'interno del braccio).

L'energia d'uscita di un attuatore è sempre meccanica, mentre l'energia d'ingresso può essere di natura diversa. In base al tipo di energia in ingresso, gli attuatori possono essere classificati in tre gruppi:

- *attuatori pneumatici*, che usano l'energia pneumatica fornita da un compressore ad aria;
- *attuatori idraulici*, che sfruttano l'energia idraulica sviluppata da un compressore oleodinamico;
- *attuatori elettrici*, che utilizzano l'energia elettrica fornita dalla rete.

Gli attuatori pneumatici trasformano l'energia pneumatica in energia meccanica. Questi attuatori sono stati ampiamente utilizzati nelle prime esperienze. Ad oggi sono quasi completamente sostituiti, come azionamenti principali, dagli attuatori elettrici. Attualmente rimangono molto diffusi soltanto negli organi di presa: infatti sono ideali per gli organi di presa dei robot manipolatori, nei quali la forza sviluppata dal compressore chiude la pinza. Le caratteristiche di questi attuatori sono: alta velocità di esecuzione, media potenza, basso costo, pulizia del sistema (assenza di perdite d'olio,

ecc.). A fronte di tali vantaggi, vi sono però i seguenti svantaggi: limitata precisione, rumorosità, perdite d'aria, necessità di filtri per l'aria, esigenze di manutenzione. Tali attuatori vengono impiegati nel 10% dei casi circa.

Gli attuatori idraulici trasformano l'energia idraulica in energia meccanica. Questi attuatori presentano una elevata potenza (sono ideali per la movimentazione di grossi carichi, oltre i 100 kg), una elevata velocità, una discreta precisione. Hanno però i seguenti svantaggi: scomodità di alloggiamento delle tubazioni (tubazioni ingombranti), scarsa pulizia del sistema e rischio d'incendio (perdite d'olio), dissipazione dell'energia (il movimento delle particelle d'olio genera attriti e riscaldamento dell'olio) e quindi costo energetico elevato, costo costruttivo elevato, alta rumorosità. Spesso la soluzione idraulica è combinata a soluzioni di tipo elettrico, nel caso di grossi carichi ma inferiori a 100 kg. Tali attuatori vengono impiegati nel 20% dei casi circa.

Gli attuatori elettrici trasformano l'energia elettrica in energia meccanica mediante motori elettrici (a corrente continua o alternata). Sono gli attuatori prevalentemente utilizzati (70% dei casi circa). La loro larga diffusione è motivata da due ragioni:

- l'alta precisione;
- le masse in moto; in tutti i tipi di macchinari si tende oggi a ridurre al minimo le parti in movimento, per ridurre l'energia dissipata negli attuatori elettrici vi è il movimento degli elettroni, per cui l'energia dissipata è bassa.

Ma gli attuatori elettrici hanno anche altri vantaggi: sono relativamente poco costosi, hanno ridotte dimensioni, presentano semplicità d'impiego. Tuttavia hanno i seguenti svantaggi: sono abbastanza pigri (gli attuatori pneumatici ed idraulici sono più veloci), erogano una potenza a volte non sufficiente, presentano la necessità dell'impiego di un riduttore con conseguente aggravio di costi; inoltre il gioco degli ingranaggi del riduttore può limitare la precisione ottenibile. I motori elettrici prevalentemente utilizzati sono: quelli a

magneti permanenti e cioè a corrente continua, quelli senza spazzole e quelli passo a passo (step motor).

Il dispositivo di regolazione è formato dai seguenti trasduttori elettromeccanici:

- le dinamo tachimetriche (alimentate a corrente continua), che sono generalmente usate per controllare la velocità e la accelerazione dell'articolazione;
- gli estensimetri (a semi-conduttore), che vengono solitamente utilizzati per controllare la forza dell'articolazione;
- gli encoder o i resolver o i synchro o i potenziometri (questi ultimi, lineari e rotativi), che in genere sono usati per controllare la posizione dell'articolazione. In altre parole, tali trasduttori svolgono per il robot le stesse funzioni cui è deputato il sistema nervoso nel corpo umano: essi permettono al robot di controllare il proprio funzionamento interno, ossia gli consentono una percezione interna del proprio sistema (Melchiorri, 2002).

1.1.5 Gradi di libertà

I gradi di libertà (GDL), detti anche assi, sono il numero dei giunti di un manipolatore (Figura 1.3); ad un manipolatore a n giunti si attribuiscono n GDL (per esempio se $n = 6$ giunti, allora esistono 6 GDL). I GDL determinano la capacità del manipolatore di articolarsi in posizioni e orientazioni diverse. Il braccio di un robot (escluso il polso), per raggiungere ogni punto all'interno del suo volume di lavoro, possiede generalmente almeno tre GDL (realizzati grazie all'impiego di tre giunti):

1. la rotazione del braccio rispetto al piede;
2. l'estensione della spalla;
3. l'estensione del gomito.

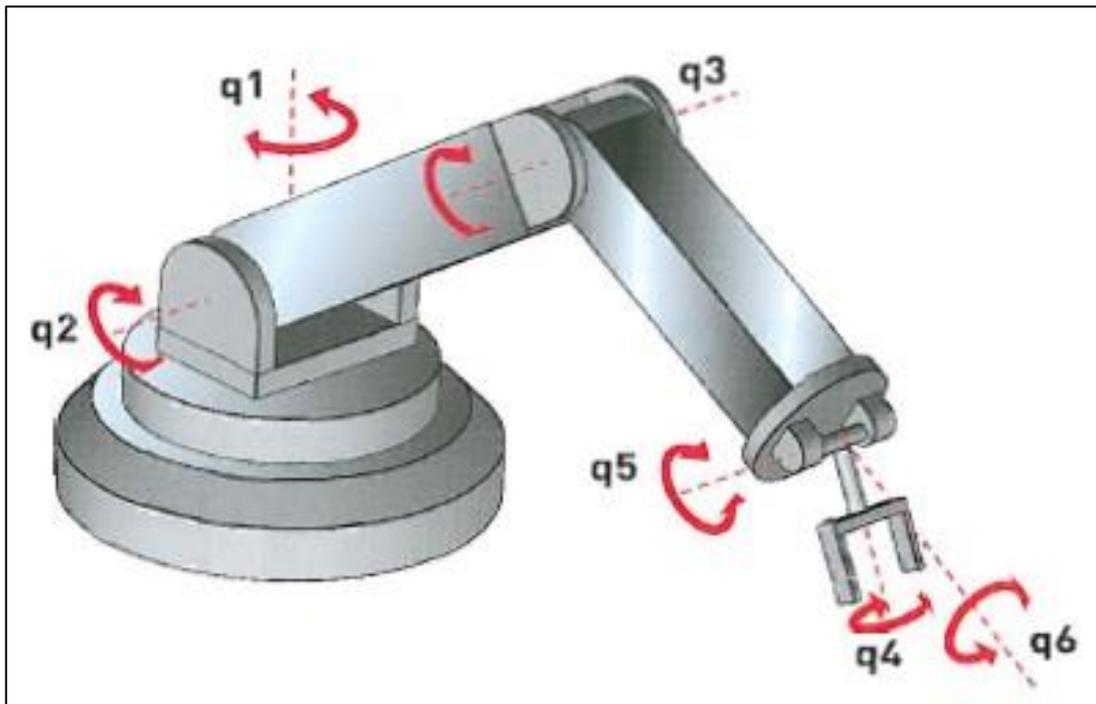


Figura 1.3: Manipolatore con sei gradi di libertà. Tre definiscono la posizione e gli altri tre l'orientamento dell'elemento terminale (Calda, 1988)

Spesso, però, il braccio di un robot deve non solo raggiungere ogni punto nell'ambito del suo volume di lavoro ma anche poter muovere il suo terminale per compiere l'orientazione richiesta. Per esempio, per eseguire un foro nel pezzo da lavorare, il braccio deve non solo raggiungere con la punta del trapano il punto voluto, ma anche orientare il trapano nel modo desiderato (perpendicolarmente alla superficie da forare). Le tre coordinate sopra dette non possono descrivere anche l'orientamento dell'utensile (o della mano). Pertanto anche il polso deve essere dotato di GDL: generalmente i GDL del polso sono tre (realizzati con l'impiego di altri tre giunti); diversi tipi di polsi sono reperibili sul mercato, differenziati per numero di GDL. E' quindi necessaria un'altra terna di coordinate, che definiscono i tre GDL del polso. In genere si ricorre a coordinate angolari, che sono le seguenti (con terminologia derivata dall'aerodinamica):

4. angolo di rollio;
5. angolo di imbardata;
6. angolo di beccheggio.

Per comprendere il significato di questi termini, si può distendere un braccio in avanti, col polso e le dita tesi ed il palmo della mano rivolto verso il basso.

Ruotando il palmo verso l'alto, tenendo le dita distese in avanti, si ottiene un movimento di rollio (prono-supinazione). Se, con l'avambraccio teso e senza effettuare alcun rollio, si piega il polso verso il basso e poi verso l'alto, si ottiene un movimento di beccheggio. Infine, se si piega il polso a sinistra e poi a destra, senza effettuare alcun rollio o beccheggio, si ottiene un movimento di imbardata. Considerando la prima terna di coordinate e la seconda appena descritta, si ottiene un assetto definito da sei coordinate ossia da sei GDL complessivi nello spazio: i primi tre relativi al movimento del braccio ed i secondi tre relativi al movimento del polso (per l'orientazione del terminale). Il braccio umano ha sette GDL (escluse le articolazioni della mano): due nella spalla, due nel gomito e tre nel polso. Infatti, anche senza spostare il busto, un uomo può puntare le dita in quasi tutte le direzioni intorno a lui. Tuttavia, come quelle del braccio umano, anche le articolazioni dei robot (cioè i giunti) hanno delle limitazioni di escursione, per cui i robot non possono raggiungere certe combinazioni di posizione ed orientazione. Quindi, un robot industriale generalmente ha sei GDL, che è il numero minimo teorico affinché il suo braccio possa raggiungere ogni punto all'interno dello spazio di lavoro ed il suo terminale sia in grado di assumere qualunque orientazione all'interno di detto spazio. Tuttavia esistono anche robot dotati di un minor numero di GDL (< 6): tali robot non possono eseguire tutti i compiti nello spazio di lavoro, ma solo compiti in un certo sotto-insieme. In casi particolari può essere necessario disporre di un braccio e di un terminale dotati di maggiore manovrabilità (per es., per evitare ostacoli intermedi), per cui si utilizzano robot aventi un maggior numero di GDL (> 6): questi robot possono eseguire un dato compito in infiniti modi. Ovviamente, aumentano anche i problemi relativi all'azionamento ed al controllo degli assi, per cui tale opzione con GDL > 6 è adottata solo quando è strettamente necessario. I robot che senz'altro devono essere dotati di almeno sei GDL, affinché il braccio possa avere una buona elongazione ed articolazione, sono in particolare i robot: di verniciatura, che sono per lo più destinati ad operare su pezzi voluminosi (tipiche le scocche delle automobili) e necessitano per questo di campi di azione molto ampi; di

saldatura a punti utilizzati nell'industria automobilistica, dato che devono raggiungere aree interne alla scocca dell'autovettura difficilmente accessibili; di assemblaggio, che effettuano il montaggio di una vasta gamma di prodotti e necessitano pertanto di un potere manipolativo completo. (Melchiorri, 2002)

La seconda unità invece è composta da un calcolatore (Figura 1.4), che rappresenta il cervello elettronico del robot e che assolve alle seguenti funzioni fondamentali:

- memorizza il programma di istruzioni relativo al lavoro che il robot deve svolgere;
- comanda i movimenti del manipolatore in base al programma di istruzioni contenuto in memoria;
- riceve i dati dal mondo esterno tramite i sensori, li analizza e prende le conseguenti decisioni inviando gli ordini operativi agli attuatori.

L'unità elettronica di programmazione e controllo è dotata:

- di una unità di memoria (costituita da un supporto mnemonico hardware; un disco di memoria), dove viene memorizzato il programma di istruzioni;
- di un terminale di interfacciamento o consolle di programmazione (composto da una tastiera alfanumerica e da un video), per mezzo del quale l'operatore umano può programmare il robot ed interagire con esso; infatti tramite la tastiera è possibile inserire il programma di istruzioni relativo alla lavorazione nella suddetta unità di memoria; sempre tramite la tastiera l'operatore può bloccare il robot in caso di anomalie, difformità di lavorazione, ecc.; infine per mezzo del videoterminale l'unità di controllo può comunicare con l'operatore inviandogli messaggi, per riferire circa la natura e l'ubicazione di eventuali avarie o malfunzionamenti;



Figura 1.4: L'unità elettronica di programmazione e controllo (Rocco, 2017)

- di una unità di elaborazione aritmetico-logica (costituita da un componente hardware; un micro-processore), che traduce e codifica in linguaggio numerico (digitale) i dati in entrata (le istruzioni del programma e le informazioni esterne raccolte dai sensori) e trasmette i dati in uscita agli attuatori intervenendo opportunamente su di essi, permettendo così il movimento del manipolatore; inoltre l'unità di elaborazione controlla che ogni movimento trasmesso al braccio, tramite gli attuatori, sia compiuto correttamente secondo le istruzioni del programma, chiudendo in questo modo l'anello di controllo; questa attività, appena descritta, di codifica, di interfacciamento e di controllo ad opera dell'unità di elaborazione rispetto ai sensori e agli attuatori è propriamente detta retroazione (feedback). L'unità di programmazione e controllo è fisicamente rappresentata da un contenitore metallico di forma rettangolare, detto armadio, contenente tutta la componentistica hardware che costituisce tale unità (Minsky, 1987).

1.1.6 Classificazione dei robot industriali

La classificazione cinematica si basa sui gradi di libertà del braccio (fino all'altezza del polso, escluso), per cui vi sono robot:

- *A geometria cartesiana* (Figura 1.5); questi si muovono lungo tre assi

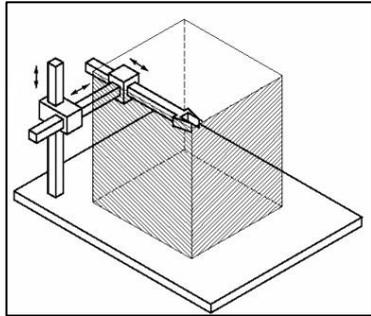


Figura 1.5: Geometria cartesiana (Melchiorri, 2002)

lineari ortogonali, secondo le coordinate cartesiane x , y , z (tre giunti prismatici, in successione TTT); si tratta di robot che presentano elevata precisione, forte capacità di carico e facilità di programmazione, ma che comportano un costo elevato ed un notevole ingombro. I

robot cartesiani, grazie alla struttura a giunti prismatici che gli conferiscono un'ottima precisione, sono impiegati soprattutto per montaggio e misura.

- *A geometria cilindrica* (Figura 1.6); questi si muovono all'interno di un volume di lavoro cilindrico, secondo due assi di traslazione ed uno di rotazione (due giunti prismatici ed uno rotativo, così alternati TRT);

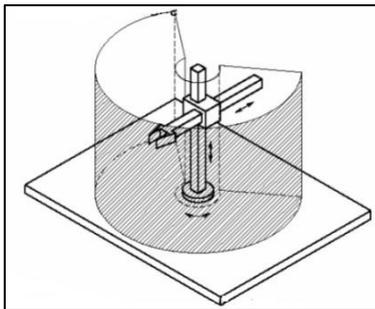


Figura 1.6: Geometria cilindrica (Melchiorri, 2002)

offrono i vantaggi di un'elevata velocità, di una forte capacità di carico e di un basso ingombro, ma sono affetti da scarsa precisione e da una programmazione complessa.

- *A geometria polare* o sferica anche detta (Figura 1.7); questi si

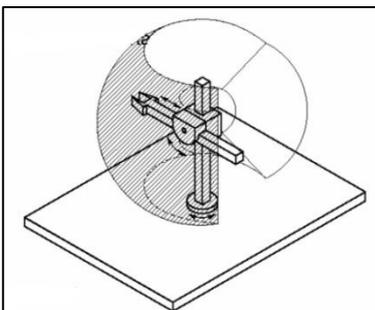


Figura 1.7: Geometria polare (Melchiorri, 2002)

muovono all'interno di un volume di lavoro sferico, secondo due assi di rotazione ed uno di traslazione (un giunto prismatico e due rotativi, in successione RRT); hanno i pregi di una buona velocità

di lavoro, di un basso ingombro e di una programmazione semplice, ma presentano lo svantaggio di una scarsa precisione. Attualmente questa struttura è limitata ad applicazioni gravose come la saldatura a punti o la manipolazione pesante nelle quali non è richiesta grande precisione di posizionamento o elevata ripetibilità.

- *A geometria articolata* (Figura 1.8); questi si muovono secondo tre assi di rotazione (tre giunti rotativi, in successione RRR); sono robot dotati

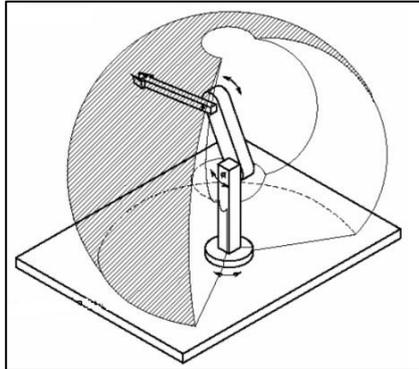


Figura 1.8: Geometria articolata (Melchiorri, 2002)

di alta velocità di lavoro e di grande precisione, hanno ingombro ridotto, sono economici, ma la loro programmazione è complessa. Si dicono antropomorfi proprio per la

somiglianza con il busto ed il braccio umani. Questi robot hanno un maggiore volume di lavoro rispetto alle altre strutture e ciò li rende ideali per applicazioni come la verniciatura a spruzzo e la saldatura ad arco.

Tra questi robot va considerato anche il tipo Selective Compliance Assembly Robot Arm (SCARA). Esso è una combinazione tra il robot cilindrico e

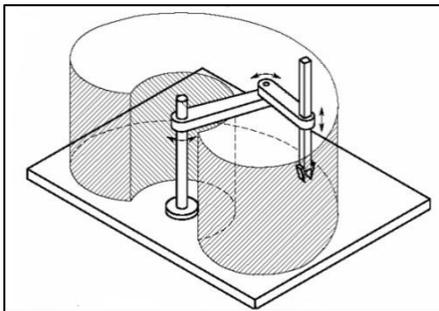


Figura 1.9: Geometria SCARA (Melchiorri, 2002)

l'articolato (Figura 1.9). Il suo braccio è in grado di spaziare in un ridotto volume di lavoro ed è particolarmente idoneo per piccoli montaggi (Melchiorri, 2002).

1.1.7 Ambiti di utilizzo dei robot industriali

La concezione originaria del robot era quella di una macchina che potesse, come l'uomo, adattarsi ad ogni tipo di situazione operativa, per cui tale concezione orientò i primi costruttori alla realizzazione di robot di tipo universale, ossia capaci di svolgere ogni caratteristica lavorazione industriale:

saldatura, verniciatura, assemblaggio, ecc. L'esperienza ha tuttavia dimostrato che, almeno allo stato attuale della tecnologia, il robot universale è molto meno efficiente dei robot dedicati, ossia progettati per uno specifico compito. Ogni tipo di robot, in base alla particolare mansione per cui è stato progettato, presenta non solo una diversa struttura, come è intuibile, ma anche un differente sistema di controllo (hardware e software). Tipicamente è possibile distinguere i seguenti robot dedicati per specifiche modalità d'impiego.

- *Robot di saldatura a punti.* La saldatura a punti è l'applicazione più diffusa al mondo per robot industriali. Tale operazione viene di solito effettuata nella carrozzeria delle automobili: tradizionalmente l'industria automobilistica è il maggiore utente di robot per la saldatura a punti (Figura 1.10). La diffusione dei robot in questo tipo di applicazione è avvenuta a partire dai primi anni '70, inizialmente proprio nell'industria automobilistica, ed è stata molto rapida. In questa lavorazione il robot impugna una saldatrice avente un peso variabile tra i 5 ed i 30 kg, che manovra attorno alla carrozzeria dell'autovettura, saldando la struttura delle portiere, le aperture dei cristalli ecc. al ritmo medio di un chiodo di saldatura ogni secondo e mezzo. In questo senso, non sono insolite linee di produzione

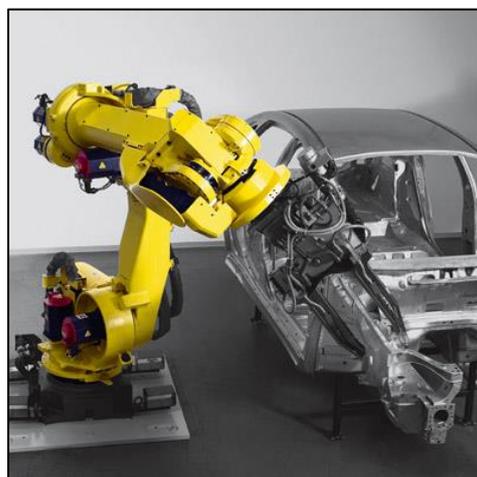


Figura 1.10: Robot saldatura a punti (FANUC, 2000)

comprendenti anche 60 robot. I robot possono essere montati in modo fisso su entrambi i lati di una linea di montaggio o possono essere scorrevoli su rotaia (posta sul pavimento o in posizione aerea).

In questo tipo di applicazione, il percorso seguito non è essenziale: il robot deve solo spostarsi da un punto ad un altro e in questi effettuare la saldatura, quindi non ha bisogno di mantenere un controllo rigoroso sul percorso dell'utensile. Pertanto i robot addetti a questa mansione hanno: minima precisione dinamica (lungo il percorso) e media precisione statica (sul punto da saldare), nessuna capacità sensoriale, capacità di memoria medio piccola, capacità di calcolo limitata. In genere sono equipaggiati con attuatori elettrici.

- *Robot di saldatura ad arco.* Si tratta di un altro tipo di saldatura correntemente usato nell'industria, effettuata per mezzo di una torcia saldante, che consente di effettuare saldature continue lungo traiettorie prestabilite. Il robot che compie l'arcosaldatura (Figura 1.11) dev'essere più sofisticato rispetto a quello che esegue la saldatura per punti, dato che dev'essere in grado di spostare la saldatrice lungo un percorso continuo prestabilito con velocità costante, mantenendo un controllo rigoroso sull'orientazione della torcia di saldatura rispetto al pezzo da saldare. Pertanto i robot addetti all'arcosaldatura hanno: notevole precisione (di traiettoria e di velocità), sensori tattili o visivi (per ben adattarsi al pezzo da lavorare, a causa del complesso problema di ricerca e di inseguimento del giunto, che non è sempre perfetto o che si deforma durante la lavorazione),



Figura 1.11: Robot saldatura ad arco (FANUC, 2000)

capacità di memoria medio grande (per la necessità di memorizzare l'intera traiettoria), capacità di calcolo molto elevata (uso di funzioni trigonometriche, radici quadrate, ecc.).

Dato che la saldatura ad arco è un'operazione complessa, spesso vengono utilizzati sensori sia tattili sia visivi tra loro integrati e micro-processori locali, per guidare al meglio la torcia saldante.

- *Robot di verniciatura a spruzzo.* I robot di verniciatura sono fra i più utilizzati al mondo (Figura 1.12). Anche questo tipo di applicazione è notevolmente diffuso nell'industria automobilistica per la verniciatura delle scocche: i robot possono essere montati in modo fisso su ambo i lati di una linea di verniciatura (la scocca è mobile, trasportata su dei binari) ed ognuno di essi è addetto alla verniciatura di una parte della scocca (portiere, cofano, ecc.), oppure possono essere scorrevoli su rotaia (posta sul pavimento o in posizione aerea) mentre la scocca è ferma. Il modo di operare del robot in questa lavorazione è forse quello che imita maggiormente l'azione svolta dall'uomo. Il braccio sostiene e comanda una pistola verniciatrice a spruzzo alimentata in pressione e la muove lungo un percorso continuo prefissato, con durate molto variabili (da alcuni minuti a qualche ora), mantenendo la direzione dello spruzzo perpendicolarmente rispetto alla superficie da verniciare. Dunque, un robot di questo tipo deve essere in grado di eseguire il tipico movimento di verniciatura in modo uniforme e con velocità costante (per distribuire la vernice in modo omogeneo e per non variare gli spessori di verniciatura) e di memorizzare un numero elevato di traiettorie. Pertanto un robot dedicato per questa mansione ha: notevole precisione di velocità (affinché le passate di vernice siano uniformi) e modesta precisione di posizionamento, notevole capacità di memoria (per archiviare le numerose traiettorie, anche quelle più lunghe e complesse), media capacità di calcolo (per la ricostruzione delle traiettorie), capacità sensoriale (per il



Figura 1.12: Robot di verniciatura a spruzzo (FANUC, 2000)

riconoscimento ottico dei particolari da verniciare; non necessita una capacità sensoriale sofisticata, in genere ottenibile con una serie di fotocellule; vengono comunque utilizzate anche

telecamere). Gli attuatori sono generalmente elettrici.

- *Robot di sbavatura/smerigliatura/lucidatura/taglio e di incollaggio/sigillatura.* I robot addetti alla sbavatura, alla smerigliatura, alla lucidatura, al taglio e quelli addetti all'applicazione di collanti e sigillanti presentano le stesse caratteristiche dei robot di arcosaldatura, dato che devono essere capaci di spostarsi lungo un percorso continuo prestabilito a velocità costante e con grande capacità di adattamento al pezzo da lavorare, mantenendo un controllo rigoroso sull'orientazione dell'utensile.
- *Robot di pressofusione.* L'impiego nei reparti di pressofusione è stato il primissimo esempio di applicazione di robot industriali. Si trattò di una scelta ovvia, dato che tale lavoro è particolarmente ostile per l'uomo. Originariamente il compito del robot consisteva nell'estrarre dalla macchina di fusione i getti di metallo ad altissima temperatura, per poi immergerli in un bagno d'acqua per farli raffreddare. Successivamente tale applicazione divenne più evoluta: il robot, dopo aver immerso il getto metallico caldo nel bagno di raffreddamento, lo trasferiva a una pressa, poi ad una macchina utensile per la sbavatura ed infine lo deponeva su un nastro trasportatore. La raccolta dei getti dalla macchina di fusione e il loro successivo trasferimento

alle macchine utensili e al nastro trasportatore avvengono in posizioni fisse, per cui la mansione del robot in questo ambito è relativamente semplice. Pertanto ai robot di pressofusione non sono richieste particolari dotazioni: minima precisione dinamica e media precisione statica, nessuna capacità sensoriale (o comunque molto semplice), capacità di memoria medio-piccola, capacità di calcolo limitata (si tratta sostanzialmente delle stesse caratteristiche dei robot di saldatura a punti). Tuttavia l'impiego dei robot di pressofusione (Figura 1.13) è impegnativo da un altro punto di vista: il braccio, ovviamente, è sottoposto a sbalzi termici, che, oltre a costituire un motivo di particolare sollecitazione per la struttura metallica del manipolatore, provocano anche disturbi al sistema degli attuatori (che sono pneumatici; non idraulici e non elettrici, per il pericolo d'incendio). E', dunque, necessario raffreddare periodicamente gli organi di presa, per es mediante immersione degli stessi in un bagno d'acqua.



Figura 1.13: Robot di pressofusione (TIESSEROBOT, 2000)

- *Robot siderurgici di fucinatura.* Un robot impiegato in fonderia provvede a deporre le billette nell'altoforno; una volta riscaldate, le billette roventi vengono estratte dal forno da parte dello stesso robot (Figura 1.14). Anche ad un robot di fucinatura non sono richieste particolari dotazioni. E' necessario però che abbia una buona capacità sensoriale, perché quando le billette arrivano in uscita da un forno in modo disordinato o quando aderiscono agli stampi o quando non sono a temperature ottimali, un robot cieco si trova in grave difficoltà.

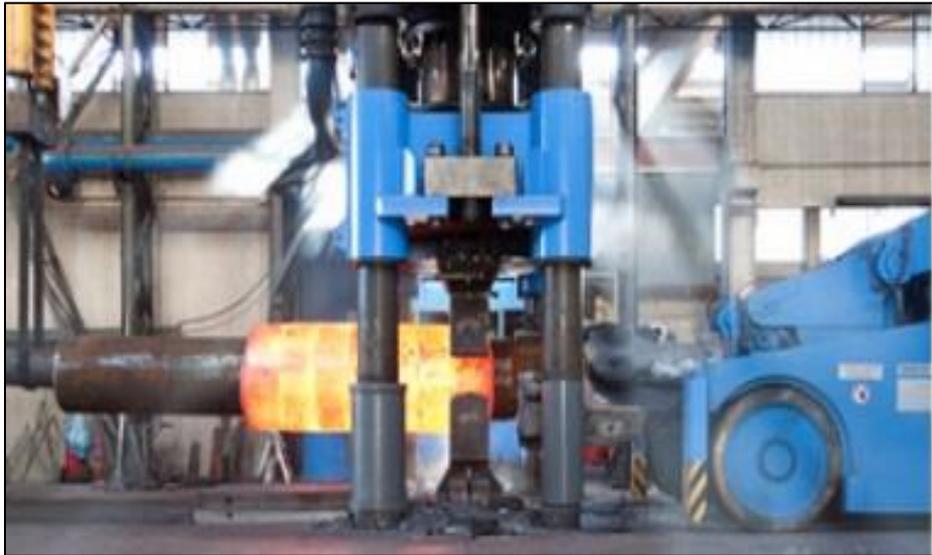


Figura 1.14: Robot siderurgico di fucinatura (STAIN, 2000)

Anche in questa applicazione, il robot è sottoposto a stress perché deve sopportare temperature molto alte (ancor più alte di quelle del processo di pressofusione), per cui il braccio e gli attuatori (anche qui pneumatici) sono soggetti a sbalzi termici: questo lavoro, a causa del forte calore, è spesso impegnativo anche per un robot. In applicazioni più evolute, il robot di fonderia può preparare il metallo fuso, può effettuare la colata negli stampi, può sostituirli, può eseguire la loro pulizia a spruzzo e la loro lubrificazione.

- *Robot di movimentazione.* Si tratta di robot che spostano nello spazio oggetti più o meno ingombranti e pesanti, senza eseguire operazioni di lavorazione o di assemblaggio (Figura 1.15). Specificatamente in questo ambito vi sono robot di carico/scarico di macchine utensili (una delle prime applicazioni in tal senso e tutt'ora una delle più diffuse in tutto il mondo è lo scarico di macchine pressocolatrici per materie plastiche e leghe leggere), robot che servono più macchine operatrici (la cosiddetta isola di fabbricazione; le macchine sono disposte in cerchio o su un arco di cerchio intorno al robot, oppure il robot è mobile su rotaia e serve una linea di macchine), robot che trasferiscono i pezzi da un nastro trasportatore all'altro, robot di presa e deposito di merci presso magazzini, robot che collocano in modo ordinato pezzi finiti su un pallet (scaffale), ecc. Vi sono anche applicazioni più evolute che prevedono robot che inscatolano prodotti vari o che confezionano prodotti alimentari/farmaceutici. La movimentazione di materiali è l'applicazione robotica più elementare (meno intelligente); pertanto ai robot di questa categoria si richiede: minima precisione dinamica (lungo il percorso) e media precisione statica (di posizionamento), alta velocità di spostamento, nessuna capacità sensoriale, capacità di memoria mediopiccola, capacità di calcolo limitata (sostanzialmente come per i robot di saldatura a punti). I robot di movimentazione sono equipaggiati con attuatori elettrici o pneumatici o idraulici (con questi ultimi,



Figura 1.15: Robot di movimentazione (FANUC, 2000)

in particolare, se gli oggetti da movimentare sono molto pesanti, oltre i 100 kg).

- *Robot di assemblaggio.* Tali robot sono impiegati nelle operazioni di montaggio di apparati meccanici (scatole di ingranaggi, pompe dell'acqua per automobili, ecc.), elettromeccanici (motori elettrici, elettrodomestici, ecc.), elettronici (circuiti stampati, apparecchi radio e TV, video-registratori, ecc.) di piccole e grandi dimensioni. Oggi, in tal ambito, è possibile acquistare sul mercato robot completamente attrezzati e programmati per una vasta gamma di operazioni settoriali, capaci di eseguire in brevissimo tempo il montaggio di gruppi composti di circa 6-12 pezzi diversi: tipicamente il montaggio di apparati formati da una decina di parti richiede tempi dell'ordine di un minuto. E' da dire che i robot di assemblaggio (Figura 1.16) sono i più costosi fra tutti, dato che devono essere dotati di sufficienti capacità sensoriali, che ne fanno lievitare il prezzo. Generalmente una stazione robotica di assemblaggio comprende dei trasportatori rotativi, su cui sono disposti i componenti, e tre robot, sincronizzati tra loro nei movimenti per un coordinamento/una coincidenza temporale delle fasi di montaggio: i robot 1 e 2 sono adibiti alla movimentazione e al posizionamento delle diverse parti, il robot 3 è specializzato nelle operazioni di avvitamento; i robot 1 e 2 si alternano nel montaggio in modo da rendere più veloce l'intera operazione, mentre la diversa disposizione dei trasportatori su cui si trovano i componenti è studiata per evitare interferenze fra i bracci. Le caratteristiche di questa tipologia di robot sono molto simili a quelle dei robot di saldatura ad arco: precisione molto elevata (per l'introduzione di parti entro alloggiamenti prestabiliti con tolleranze limitate), integrazione di sensori di forza (per il rispetto delle tolleranze; es., l'avvitamento di una vite nel suo alloggiamento senza spanare la filettatura) e visivi (per il riconoscimento dei vari pezzi componenti, diversi per

forma e dimensioni, e della loro posizione ed orientazione di montaggio), capacità di memoria medio-grande e di calcolo molto elevata (per l'elaborazione in tempo reale dei dati provenienti dai sensori; spesso si utilizzano micro-processor locali). Generalmente si utilizzano attuatori elettrici.



Figura 1.16: Robot di assemblaggio (ANSA, 2011)

- *Robot di rilevamento metrologico.* I robot di misura vengono impiegati per rilevare eventuali difetti dimensionali del prodotto (Figura 1.17). Per compiere le misurazioni d'interesse, essi generalmente in luogo dell'organo di presa o dell'utensile di lavoro montano una sonda a raggi laser (o a ultrasuoni) che misura con grande precisione le dimensioni dell'oggetto sottoposto a controllo. Sulla base delle misure così ottenute, il calcolatore di controllo verifica il corretto dimensionamento del pezzo, confrontando le misure reali rilevate con le misure teoriche del progetto. I sistemi di misura robotizzati possono essere inter-operazionali (per cui permettono di controllare i pezzi mentre vengono lavorati) oppure di fine lavorazione (questi consentono di controllare i pezzi subito dopo che sono stati fabbricati). I robot di ispezione vengono impiegati, per es., nell'industria automobilistica per accertare che le varie aperture

nella carrozzeria di un'autovettura (apertura delle portiere, del cofano, ecc.) rispettino le tolleranze stabilite in fase progettuale. Vengono anche utilizzati nell'industria aeronautica, per controllare se i pannelli che costituiscono la scocca dell'aereo superano o meno un certo valore dimensionale di soglia ammesso. Si tratta di robot con elevata precisione di posizione, alta velocità, capacità di memoria medio-piccola, capacità di calcolo media. I loro attuatori sono in genere elettrici (Calda, 1988).



Figura 1.17: Robot di rilevamento metrologico (FARO, 200)

1.2 Industria 4.0

Il termine “Industria 4.0” è stato utilizzato per la prima volta in Germania nel 2011, e precisamente durante la Fiera di Hannover. In questa occasione un gruppo di lavoro (Henning Kagermann, Wolf-Dieter Lukas, Wolfgang Wahlster) rappresentanti dell'economia, della politica e della scienza utilizzarono questo termine per la prima volta pubblicamente nel 2011, in una relazione intitolata: "*Industria 4.0: L'Internet delle cose sulla strada della quarta rivoluzione industriale*". Nella comunicazione si rendeva noto che il 25 gennaio 2011 era stato sottoposto alle autorità competenti per l'approvazione lo "*Zukunftsprojekt Industrie 4.0*" cioè il "Progetto per l'Industria del Futuro 4.0". La relazione finale del Gruppo di Lavoro Industrie 4.0 contenente le raccomandazioni di attuazione dello stesso venne ufficialmente rilasciata l'anno successivo, precisamente il 2 Ottobre del 2012. A differenza di altri paesi industrializzati, negli ultimi dieci anni, la Germania è riuscita a mantenere stabile il numero degli occupati nel comparto produttivo. La Germania è riuscita a padroneggiare l'impatto economico della crisi finanziaria meglio di molti altri grazie alle dimensioni e agli elementi innovativi della sua industria manifatturiera. Lo sviluppo e l'integrazione di nuove tecnologie ha contribuito significativamente a questo risultato. In seguito il modello tedesco ha ispirato numerose iniziative europee e il termine Industria 4.0 si è diffuso anche a livello internazionale (Capra, 2011).

Il termine Industria 4.0 indica come l'automazione industriale integra alcune nuove tecnologie produttive affinché possano migliorare le condizioni di lavoro, aumentare la produttività e la qualità produttiva degli impianti.

Il concetto di Industria 4.0 può essere spiegato attraverso il concetto di *Smart Factory* che si compone di 3 parti:

- *Smart production*: nuove tecnologie produttive che creano collaborazione tra tutti gli elementi presenti nella produzione ovvero collaborazione tra operatore, macchine e strumenti.
- *Smart services*: tutte le “infrastrutture informatiche” e tecniche che permettono di integrare i sistemi; ma anche tutte le strutture

che permettono, in modo collaborativo, di integrare le aziende (fornitore e cliente) tra loro e con le strutture esterne (strade, hub, gestione dei rifiuti, ecc.).

- *Smart energy*: tutto questo sempre con un occhio attento ai consumi energetici, creando sistemi più performanti e riducendo gli sprechi di energia secondo i paradigmi tipici dell'energia sostenibile.

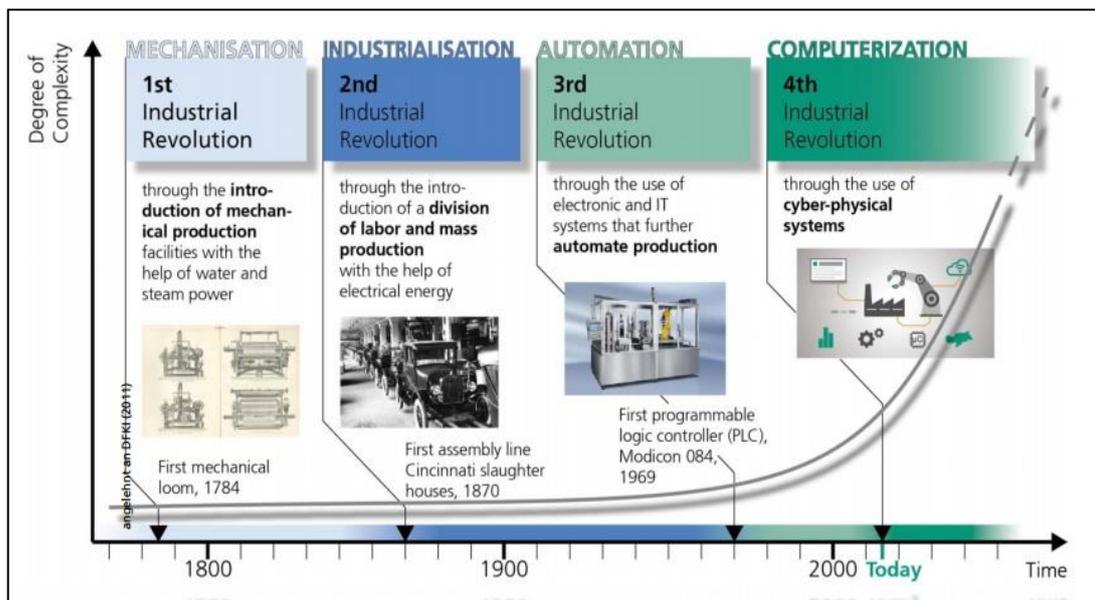


Figura 1.18: Evoluzione industriale (Gasparetto, 2017)

La quarta rivoluzione industriale (Figura 1.18) si centra sull'adozione di alcune tecnologie definite abilitanti; alcune di queste sono "vecchie" conoscenze, concetti già presenti ma che non hanno mai sfondato il muro della divisione tra ricerca applicata e sistemi di produzione veri e propri; oggi, invece, grazie all'interconnessione e alla collaborazione tra sistemi, il panorama del mercato globale sta cambiando portando alla customizzazione di massa, diventando di interesse per l'intero settore manifatturiero.

Le nove tecnologie abilitanti (Figura 1.19) definite da Boston Consulting sono (Boston Consulting, 2015):

- *Advanced manufacturing solution*: sistemi avanzati di produzione, ovvero sistemi interconnessi e modulari che permettono flessibilità e performance. In queste tecnologie rientrano i sistemi

di movimentazione dei materiali automatici e la robotica avanzata, che oggi entra sul mercato con i robot collaborativi o cobot.

- *Additive manufacturing*: sistemi di produzione additiva che aumentano l'efficienza dell'uso dei materiali.
- *Augmented reality*: sistemi di visione con realtà aumentata per guidare meglio gli operatori nello svolgimento delle attività quotidiane.
- *Simulation*: simulazione tra macchine interconnesse per ottimizzare i processi.
- *Horizontal e vertical integration*: integrazione e scambio di informazioni in orizzontale e in verticale, tra tutti gli attori del processo produttivo.
- *Industrial internet*: comunicazione tra elementi della produzione, non solo all'interno dell'azienda, ma anche all'esterno grazie all'utilizzo di internet.
- *Cloud*: implementazione di tutte le tecnologie cloud come lo storage online delle informazioni, l'uso del cloud computing, e di servizi esterni di analisi dati, ecc. Nel Cloud sono contemplate anche le tecniche di gestione di grandissime quantità di dati attraverso sistemi aperti.
- *Cyber-security*: l'aumento delle interconnessioni interne ed esterne aprono la porta a tutta la tematica della sicurezza delle informazioni e dei sistemi che non devono essere alterati dall'esterno.
- *Big Data Analytics*: tecniche di gestione di grandissime quantità di dati attraverso sistemi aperti che permettono previsioni o predizioni.



Figura 1.19: Le tecnologie abilitanti del Piano Nazionale Industria 4.0 (Gastone, 2017)

Come noto l'Industria 4.0 è un paradigma industriale nato all'interno delle aziende automobilistiche tedesche e da queste diffusosi agli altri settori industriali con lo scopo di trasformare radicalmente la produzione, passando da sistemi produttivi interconnessi ma ottimizzati localmente a flussi produttivi integrati, automatizzati e globalmente ottimizzati. Tale paradigma è giustamente considerato la quarta rivoluzione industriale: dopo l'introduzione nei processi di produzione della forza vapore, di quella elettrica e, infine, dell'automazione, siamo all'alba di un quarto e più complesso cambiamento all'interno delle fabbriche. Questo, infatti, non è basato come i precedenti su una specifica tecnologia, bensì sulla combinazione di alcuni elementi tecnologici (la maggior parte di matrice digitale) che hanno l'ambizione di rendere le fabbriche "intelligenti" al fine di consentire loro non già di funzionare senza l'uomo, bensì di funzionare in modo cooperativo con l'uomo stesso. Quando si dice che il paradigma industry 4.0 è nato all'interno delle aziende automobilistiche tedesche ci si dimentica che tali aziende, prima di essere tedesche, sono anzitutto automobilistiche e, come tutte le aziende del settore automotive a qualunque latitudine esse si trovino, sono lean. Processi produttivi e logistici snelli, ovvero pensati in ottica lean, sono un prerequisito fondamentale per l'implementazione del paradigma industry 4.0. Automatizzare, o governare sfruttando le tecnologie digitali, processi

complessi oltre a essere estremamente difficile e oneroso, rende il sistema logistico-produttivo in cui questi processi sono inseriti rigido e, al contempo, poco robusto. Se si pensa alla logistica per una fabbrica 4.0 viene spontaneo associarla ad un'automazione spinta, all'assenza di personale e alla forte ripetitività delle operazioni svolte. Tuttavia i paradigmi produttivi lean vedono la drammatica riduzione dei lotti e la necessità di una grande reattività e capacità di adattamento ai cambiamenti. Ecco che allora diventa fondamentale avere un'automazione snella, grazie all'adozione di soluzioni smart di materials handling. Questo perché con la crescita del mass-customization, occorre pensare a fabbriche in grado di gestire singoli ordini con produzioni quasi unitarie, il cui lotto minimo non è più calcolato per saturare gli impianti ma è derivato dalla necessità di soddisfare in poco tempo le esigenze dei clienti. Nella fabbrica del futuro anche i processi logistici di magazzino saranno facilitati dall'introduzione di sistemi automatici di movimentazione e stoccaggio, in grado di parlare tra di loro. Fortunatamente le soluzioni migliorative oggi non mancano e la tecnologia sta sempre più diventando pervasiva anche nei magazzini, grazie agli stimoli del Governo in tema di automazione (come il "superammortamento"). Oggi i progettisti possono offrire soluzioni su misura in grado di integrare interconnessioni di sistemi diversi, di controllare flussi in entrata e uscita ed evadere richieste in tempo reale, ricavando da ogni passaggio informazioni utili a guidare i processi. Tocca dunque alle aziende voltare pagina rispetto a una logistica "vecchia" concepita su un lavoro di facchinaggio pagato a "costi minimi", alla quale va preferito l'inserimento di operatori sempre più specializzati e in grado di interagire con ciò che la tecnologia offre (Dallari, 2017).

1.2.1 Cosa sono i robot collaborativi

I cobot sono robot collaborativi, robot industriali di nuova generazione pensati per lavorare insieme all'uomo, gomito a gomito e in sicurezza, senza barriere o gabbie protettive a dividerli. I collaborative robots, sono specializzati nello svolgimento di compiti specifici che "imparano" direttamente sul campo. Possono essere più o meno autonomi e stanno rivoluzionando i settori della

logistica e dell'automazione di fabbrica. Si parla in questo caso di robotica al servizio dell'industria. I robot collaborativi rappresentano una grande opportunità di avanzamento tecnologico in molti settori in cui la robotica è quasi del tutto estranea. Se ne sente parlare sempre più spesso come uno degli elementi fondamentali di *Industria 4.0*, come tecnologia abilitante di sistemi adattivi, di flessibilità della produzione, di riconfigurabilità, di efficienza. In misura ancora più importante, i robot collaborativi sono il simbolo di un cambiamento graduale ma costante della sensibilità alla creazione di condizioni di lavoro in grado di combinare produttività e salute, ovvero di fabbriche per le persone.

Robotica collaborativa significa condividere il lavoro, agevolare assistere in misura diretta, fisica. E' collaborativa qualsiasi forma di interazione tra uomo e sistema robotizzato funzionale all'esercizio di un compito produttivo che non potrebbe essere eseguito altrimenti o in modo altrettanto efficace o remunerativo. La collaboratività si manifesta con un accesso al sistema robotizzato e allo spazio di lavoro, in qualsiasi ordine, per compiere azioni funzionalmente legate, simultanee, contestuali. E' più adeguato parlare di applicazioni collaborative, piuttosto che di robot collaborativi. La collaborazione deriva dall'uso di una macchina, oltre che dalle sue proprietà.

L'utilità di un'applicazione collaborativa è, dunque, un criterio fondamentale per definire e progettare un sistema adatto alla presenza dell'uomo. L'interesse del mondo industriale per la robotica collaborativa deriva probabilmente da questo elemento: gli operatori (fornitori, integratori e utilizzatori di tecnologia) intuiscono la flessibilità d'uso delle soluzioni ibride-automatiche, in un contesto economico-culturale di rinnovata centralità dell'elemento umano nella produzione.

La ricerca della produttività ad alto valore aggiunto sono tutti fenomeni che si basano sulle capacità dell'operatore: destrezza, adattabilità, capacità di analisi, qualità; compiti da umani che vanno supportati da macchine intelligenti per i compiti da macchine.

I robot operavano all'interno di gabbie, cioè in spazi separati rispetto ai lavoratori (Figura 1.20). I robot collaborativi sono i robot più attenti agli operatori in quanto possono lavorare fianco a fianco con gli operatori senza dispositivi addizionali. Inoltre sono in grado di percepire forze applicate alla loro strutture e sono programmati per fermarsi non appena registrano un valore eccessivo di forza ai giunti attraverso dei sensori di forza.

Nell'Industria 4.0 invece, operai e robot collaborano in spazi comuni, il robot diventa un compagno di lavoro e non più un potenziale sostituto. (Vicentini, 2017)



Figura 1.20: Robot collaborativi vs Robot industriali (Fonte: FPROBOTICS, 2017)

1.2.2 Caratteristiche di un robot collaborativo

Di solito quando si ordina un robot completo, si ricevono oltre al braccio robot i seguenti articoli:

- Unità di controllo con teach pendant (Figura 1.21).
- Staffa di montaggio dell'unità di controllo.
- Staffa di montaggio del teach pendant.
- Chiave di apertura dell'unità di controllo.
- Cavo di collegamento tra braccio robot e unità di controllo.
- Cavo di rete compatibile con l'area di commercializzazione.
- Cavo utensile.
- Penna a stilo con laser.
- Certificato di collaudo in produzione.
- Manuale.



Figura 1.21: Unità di controllo e teach pendant (Fonte: Universal Robots, 2017)

I robot collaborativi presentano una struttura leggera, flessibile, hanno giunti arrotondati, plastificati o ricoperti di materiale apposito come alluminio e polipropilene (PP). Il robot è costituito essenzialmente da sei giunti robotici (Figura 1.22), che collegano la base all'utensile del robot. Il robot permette all'utensile di essere traslato e ruotato entro l'area di lavoro. Inoltre non ci sono motori, cavi, componenti meccanici o elettronici esposti e non presentano protezioni.. La forma arrotondata permette di diffondere la forza attraverso una superficie maggiore e riduce la pressione applicata sulla parte

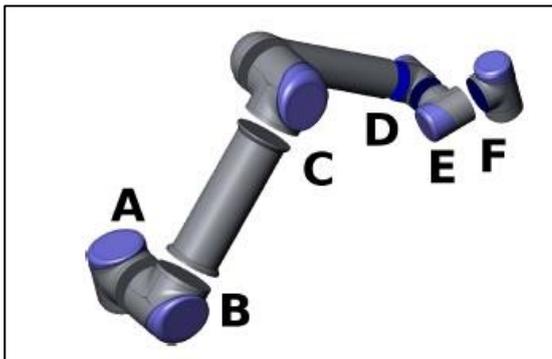


Figura 1.22: Giunti del robot. A: Base. B: Spalla. C: Gomito. D,E,F: Polso 1,2,3 (Universal Robots, 2017)

del corpo. Questo significa che i robot collaborativi sono meno dannosi nel caso in cui ci dovesse essere un impatto con l'operatore (Universal Robots, 2017)

Con Universal Robots Academy, piattaforma online gratuita per imparare a programmare i robot collaborativi, Universal Robot abbassa, di fatto, le barriere verso l'introduzione della robotica collaborativa e dell'automazione robotizzata. I vantaggi per le aziende sono notevoli, sia per le imprese più piccole, che non hanno al loro interno programmi strutturati per la formazione, sia per le aziende già inserite nella robotica, le quali non dovranno più necessariamente attendere la presenza di un tecnico e concordare una o più sessioni di formazione in certi orari. Per accedere a Universal Robots

Accademy è sufficiente registrarsi e una volta entrati nell'Accademy si trovano una serie di moduli pratici, costruiti come vere e proprie sessioni di e-learning, dedicate a diversi aspetti dell'uso dei robot UR. Attraverso schede, documenti e condivisione di informazioni ogni operatore registrato può accedere e, prescindendo dal luogo e dall'orario, avviare una sessione di formazione. I moduli di formazione on-line sono multilingue e riguardano, per ora, l'utilizzo di base dei robot UR, come la programmazione e l'uso degli end-effectors, il collegamento di I/O, la creazione di programmi di base che si applicano in aggiunta alle caratteristiche di sicurezza di un'applicazione robotizzata. Attraverso Universal Robots Academy è possibile anche "testare" un robot UR in maniera virtuale, effettuando una personale valutazione sulle potenzialità delle macchine, sulla facilità di programmazione, avviamento, utilizzo e messa in opera (Automazionenews, 2017).

Nel mese di Dicembre 2017 è stato possibile verificare la veridicità di questo corso on-line attraverso il superamento di tutti i moduli presenti sulla piattaforma. In seguito si andrà a spiegare brevemente il risultato del corso della formazione on-line.

L'unità di controllo si accende premendo il pulsante di accensione, sul lato frontale del pannello dotato di schermo tattile. Tale pannello è abitualmente chiamato teach pendant. Quando l'unità di controllo è accesa, sullo schermo tattile comparirà del testo del sistema operativo. Dopo un minuto circa, sullo schermo appaiono alcuni pulsanti e un messaggio a comparsa guida l'utente alla schermata di inizializzazione (Figura 1.23).

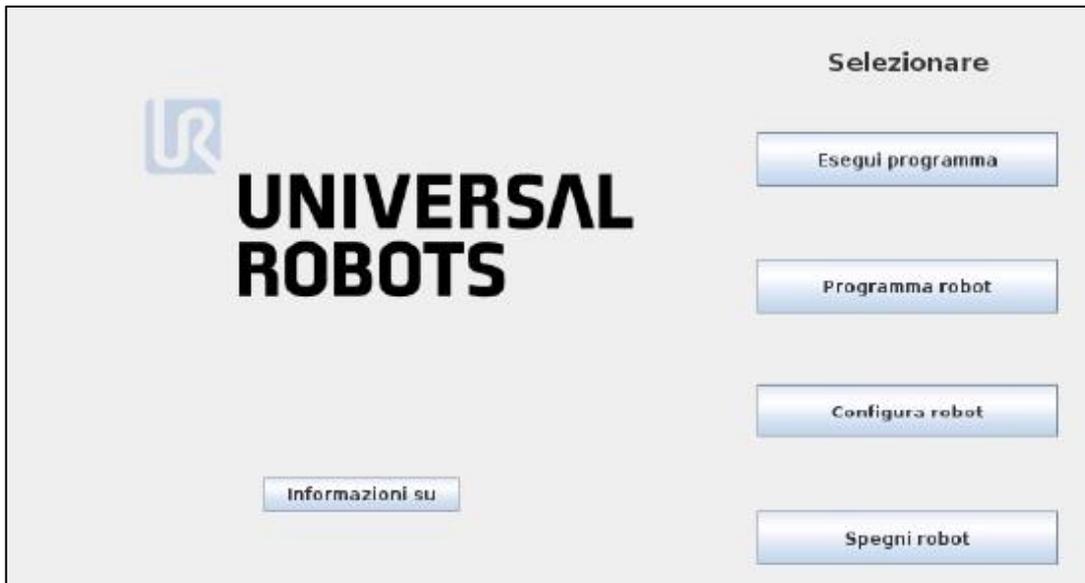


Figura 1.23: Interfaccia di programmazione sul teach pendant (Universal Robots, 2017)

Come prima cosa, dopo essere andati nella sezione configura robot, si devono inserire i valori del tool center point (TCP), del centro di gravità e del payload. Come si può notare dalla Figura 1.24, in questo caso, il valore del tool center point vale 14 cm e va inserito come valore dell'asse z. Dopo aver inserito il valore del centro di gravità e del payload, in base al tipo di programma che si vuole eseguire, verrà calcolato in automatico il valore dell'asse x ed y.

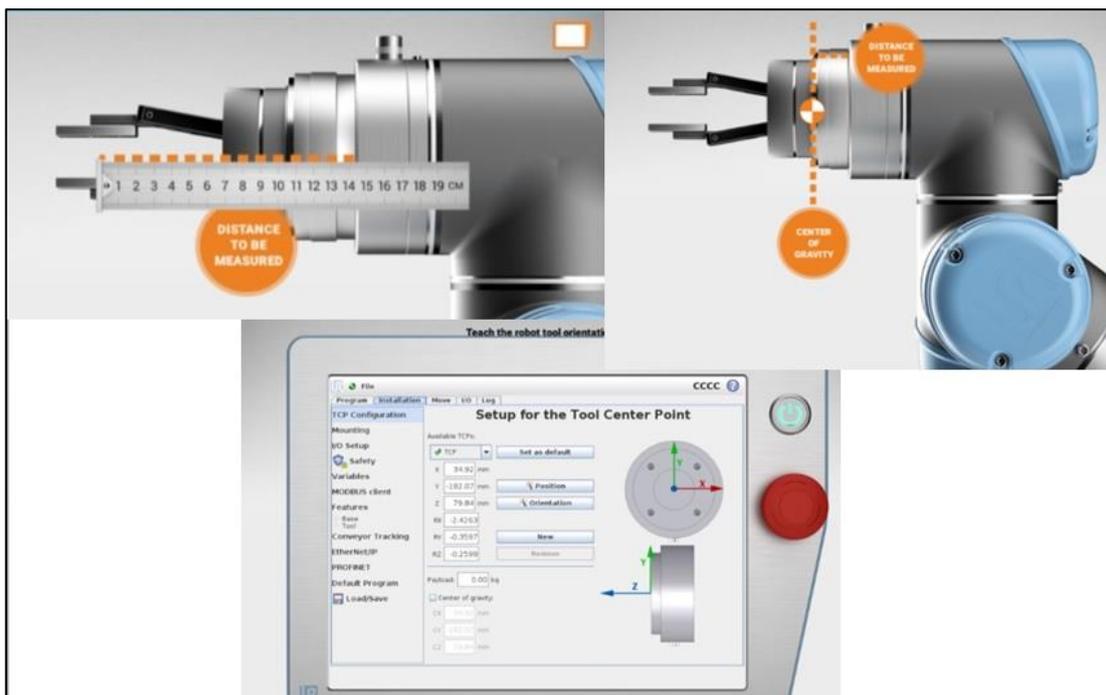


Figura 1.24: Interfaccia di inserimento del tool center point, centro di gravità e payload (UR, 2018)

Nella maggior parte dei casi, la programmazione si esegue interamente tramite il pannello tattile senza necessità di digitare alcun comando criptico. Siccome il movimento dell'utensile è una parte fondamentale di un programma robot, la modalità di apprendimento al movimento del robot è essenziale. I movimenti dell'utensile vengono impartiti ricorrendo a una serie di punti percorso chiamati "waypoints", ovvero punti nello spazio di lavoro del robot (Figura 1.25). Un punto percorso può essere stabilito portando il robot in una certa posizione, oppure può essere calcolato dal software. Per poter portare il braccio robot in una determinata posizione è necessario il teach pendant, o semplicemente manipolare il braccio robot in posizione mantenendo premuto il pulsante di apprendimento sul retro del teach pendant.

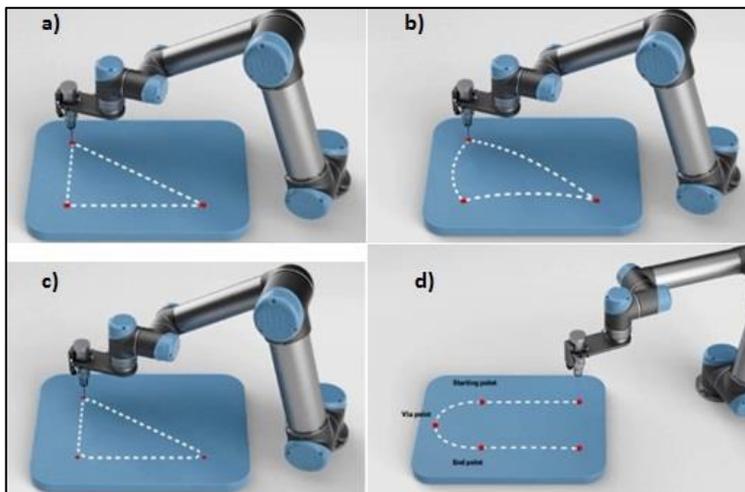


Figura 1.25: Tipi di movimento (Universal Robots, 2017)

La prima cosa da fare è programmare il percorso e il movimento per il robot. Questo viene fatto definendo i Waypoints (posizioni) sul teach pendant. Quindi si definiscono le posizioni che il robot deve percorrere piuttosto che il percorso effettivo. In altre parole, si sceglie una posizione, ad esempio "1" e la posizione successiva, ad esempio "2", e quindi il robot calcolerà come arrivare da "1" a "2" (Figura 1.26).

Il movimento a della Figura 1.25 è chiamato MoveL (Linear motion) in quanto presenta dei movimenti lineari, usato quando il cammino è importante e circoscritto nello spazio. Il movimento b invece è chiamato MoveJ (Joint motion) perchè il cammino non è lineare ed è adatto per i movimenti veloci in quanto opera in uno spazio libero. Il movimento c è chiamato MoveP (Process

motion) ed è utilizzato quando il TCP mantiene la stessa velocità attraverso vari waypoints. Infine, il cammino d è chiamato MoveC (Circular motion) e può essere usato solo in combinazione con MoveP ed in movimenti circolari.

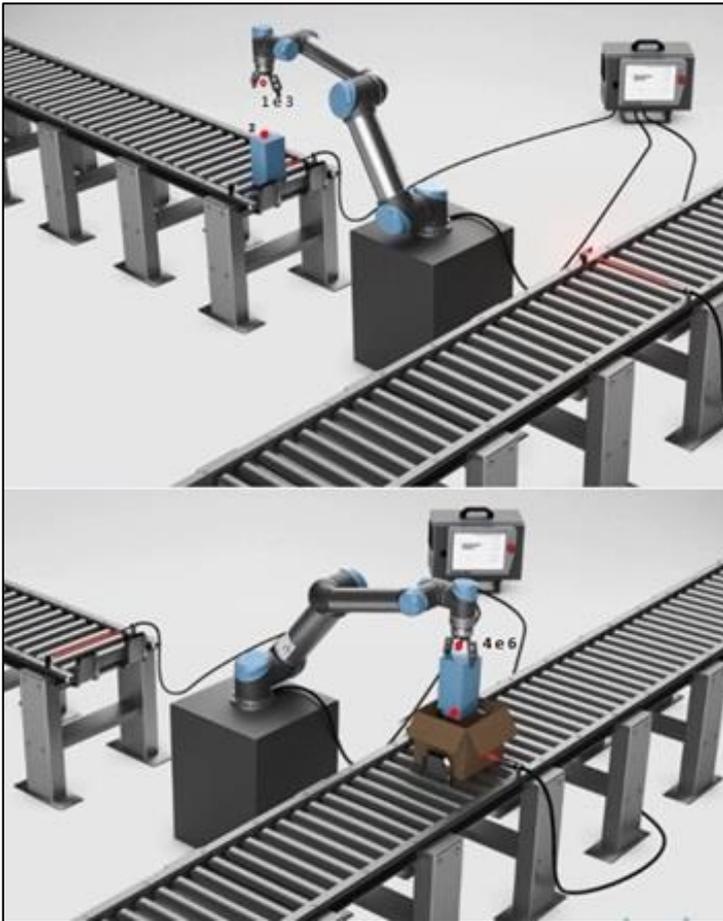


Figura 1.26: Movimenti in una applicazione di Pick and Place
(Fonte: Universal Robots, 2017)

I movimenti descritti nella pagina precedente è possibile capirli meglio in una applicazione di Pick and Place (Figura 1.26).

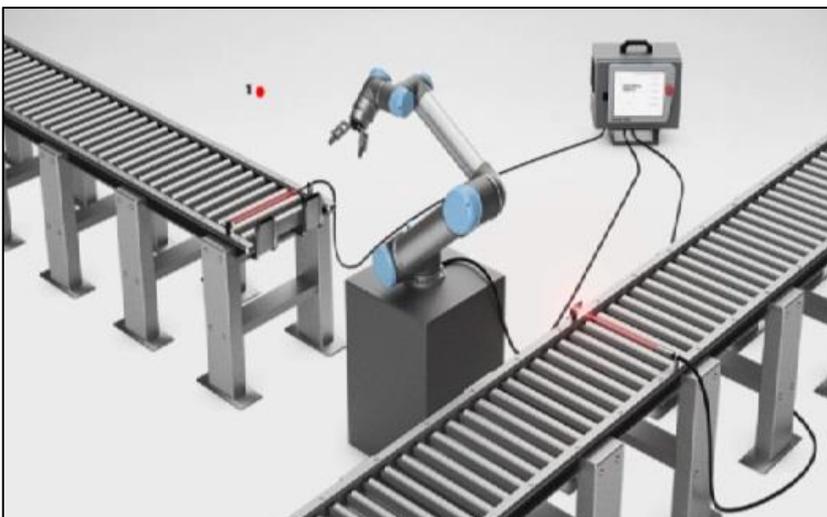


Figura 1.27: Posizione iniziale del robot collaborativo (UR, 2018)

Il robot nella sua posizione iniziale (Figura 1.27) affinché possa finire l'operazione di Pick and Place deve effettuare sei movimenti (Figura 1.26):

- MoveJ per arrivare al punto 1;
- MoveL per arrivare al punto 2;
- MoveL per arrivare al punto 3;
- MoveJ per arrivare al punto 4;
- MoveL per arrivare al punto 5;
- MoveL per arrivare al punto 6;

La programmazione di base può essere quindi completata o migliorata tramite un'interfaccia grafica molto intuitiva, che consente anche agli utenti meno esperti di installare e gestire un robot. L'estrema facilità di programmazione diminuisce o elimina la necessità di costosi programmatori robot di terze parti ogni volta che si voglia assegnare il robot ad un nuovo compito o processo.

1.2.3 Ambiti di utilizzo dei robot collaborativi

I robot collaborativi non sono adatti a carichi pesanti o ad applicazioni molto veloci ma possono trovare spazio in tutti i settori industriali. In particolare nelle applicazioni di:

- *Lucidatura*: il robot lucida anche le superfici curve e irregolari con forza impostabile per un risultato costante.
- *Stampaggio ad iniezione* : il robot può essere utilizzato in tutte le fasi della produzione di plastiche, con precisione e cadenza richiesta.
- *Analisi di laboratorio* : sollevare gli operatori dai lavori più ripetitivi con un robot per migliorare i processi di testing.
- *Avvitatura*: lasciare che un robot automatizzi i processi di avvitatura, ripetendo lo stesso movimento più volte con la stessa precisione e velocità, per migliorare la produttività e la qualità dei prodotti.

- *Confezionamento e palletizzazione*: potrebbero essere faticose e ripetitive per l'operatore e quindi si lascia che il robot svolga questi compiti.
- *Incollaggio e dosatura* : il robot può aggiungere efficienza ai processi continui, come incollaggio e dosatura, erogando ogni volta la corretta quantità di materiale con la massima precisione.
- *Asservimento macchine*: il robot può essere utilizzato per la maggior parte delle applicazioni di asservimento macchine utensili, ed è facilmente riadattabile al variare del mix produttivo.
- *Assemblaggio* : il robot gestisce senza sforzo il montaggio di plastiche, legni, metalli e un'ampia gamma di altri materiali, migliorando allo stesso tempo la rapidità e la qualità del processo.
- *Prelievo e posizionamento*: un robot può eseguire la maggior parte dei compiti di prelievo e posizionamento in modo autonomo, riducendo tempi di ciclo e gli sprechi di materiale.
- *Controllo qualità*: un robot , correttamente equipaggiato, può rilevare scarti e componenti difettosi prima che siano confezionati, in modo da mantenere alta la qualità del prodotto spedito ai clienti (Universal Robot, 2017).

CAPITOLO 2

Robot fissi legati ad una postazione di lavoro

In tutti i contesti aziendali sviluppati è possibile avere dei robot collaborativi fissi legati ad una postazione di lavoro in base al tipo di attività che viene richiesto, all'ambiente circostante ed al tipo di business. Inoltre è possibile fissare i cobot su carrelli mobili avendo così dei layout di fabbrica flessibili. In particolare è possibile trovarli nelle applicazioni di handling, assemblaggio, avvitatura, verniciatura, asservimento ad una linea di produzione, logistica e così via. Ma anche in processi di produzione più hard in cui operano da anni robot non collaborativi, come nell'automotive o nelle lavorazioni meccaniche e plastiche. Essendo, infine, prodotti leggeri e molto flessibili sia a livello operativo sia applicativo, si adattano a lavori in spazi ridotti, ad ambienti sensibili, alla manipolazione in ambito food&beverage, biomedicale o farmaceutico (Automazione-plus, 2017).

Nei prossimi paragrafi si andranno ad analizzare i seguenti robot collaborativi presenti sul mercato con alcuni esempi di applicazioni:

- ABB YuMi.
- FANUC CR-4iA, CR-7iA, CR-7iA/L, CR-35iA.
- UNIVERSAL ROBOTS UR3, UR5, UR10.
- YASKAWA Motoman HC 10
- KUKA LBR iiwa
- RETHINK ROBOTICS BAXTER E SAWYER
- COMAU NJ4, RACER3

2.1 ABB YuMi

ABB ha presentato YuMi, il primo robot industriale a due bracci realmente collaborativo, alla fiera delle tecnologie industriali Hannover Messe. La strategia è imperniata su tre aree di focalizzazione: crescita profittevole, esecuzione incessante e collaborazione guidata dal business. L'azienda perseguirà una crescita profittevole spostando il suo centro di gravità verso mercati ad alta crescita, migliorando la competitività e riducendo i rischi del suo modello di business.

YuMi (Figura 2.1) è stato progettato specificamente per le esigenze di flessibilità e agilità in produzione dell'industria elettronica di largo consumo, ma può essere impiegato in qualsiasi processo di assemblaggio di piccoli componenti, grazie al doppio braccio di magnesio che flette su 7 assi, alle "mani" flessibili, al sistema universale per l'alimentazione dei componenti, alla telecamera per l'individuazione dei pezzi e al controllo di movimento avanzato ad alta precisione. YuMi può lavorare a stretto contatto con addetti umani grazie alla sua progettazione a sicurezza intrinseca. Il robot ha uno scheletro di magnesio leggero ma estremamente rigido, rivestito da un involucro di plastica con morbide imbottiture per attutire eventuali colpi. YuMi è compatto, con dimensioni e movimenti simili a quelli dell'uomo, per trasmettere un senso di sicurezza e tranquillità ai suoi colleghi in carne e ossa. Quando YuMi si imbatte in un ostacolo imprevisto, ad esempio il contatto con un addetto, si arresta nel giro di pochi millisecondi, dopodiché il suo funzionamento può essere ripristinato facilmente premendo un pulsante sul



Figura 2.1: YuMi (ABB, 2015)

telecomando. YuMi non ha punti di aggancio, cosicché non sussiste alcun rischio di lesioni dovute all'apertura e chiusura degli assi.

YuMi accetta un largo range di dispositivi HMI come controlli a distanza, display industriali, tablets e smartphone. Inoltre hanno una potenza di 100-240 Watt e grazie alla loro versatilità possono essere attaccati a qualsiasi presa elettrica (Figura 2.2) (Automazione-plus, 2015).

Features		Specification			
Integrated signal and power supply	24V Ethernet or 4 Signals	Robot Version	Reach	Payload	Armload
Integrated air supply	1 per Arm on tool Flange (4 Bar)	IRB 14000-0.5/0.5	559 m	500 g	No armloads
Integrated ethernet	One 100/10 Base-TX ethernet port/per arm	Performance			
Position repeatability	0.02	25* 300 * 25mm		0.86s	
Robot mounting	Table	Max TCP Velocity		1.5 m/s	
Degree of protection	IP30	Max TCP Acceleration		11 m/s ²	
Controllers	Integrated	Acceleration time 0-1m/s		0.12s	
Safety specification		Physical			
Functional safety	PL b Cat B	Total bottom		399mm * 496mm	
		Toes		399mm * 134MM	
		Weight		38kg	

Figura 2.2: Caratteristiche tecniche di YuMi (ABB, 2017)

2.1.1 Applicazione YuMi

Deonet è un'azienda del Benelux specializzata nella personalizzazione di prodotti. Il suo core business sono le chiavette USB ma l'azienda fabbrica anche penne, portachiavi e altri articoli promozionali provvisti di logo e slogan. Oggi un esemplare di Yumi è operativo nell'area di produzione di Deonet per installare i chip di memoria sulle chiavette USB in formato carta di credito (Figura 2.3). Accanto al braccio sinistro del robot c'è una pila di vassoi con tutte le carte di varie dimensioni. Yumi afferra una scheda stampata e la poggia su uno speciale piedistallo. Solleva quindi una linguetta per aprire lo spazio di inserimento dei chip di memoria e preleva un chip da un vassoio con il braccio destro, tenendolo vicino a un gruppo di incollaggio. Quindi sposta lo stesso braccio verso il piedistallo e, con un movimento rotatorio quasi umano, monta il chip nella sua posizione. Con il braccio sinistro trasferisce il tutto al vassoio di scarico, non prima di aver scattato una foto per verificare che non siano rimasti spazi vuoti sulla scheda, ed è pronto per lavorare una nuova carta. Una volta svuotato un vassoio, Yumi lo trasferisce dalla pila di ingresso

a quella di scarico. Il tutto fino al completamento dell'ordine. Coadiuvato dalla sua assistente, Yumi produce in otto ore oltre tremila carte di credito USB. Un volume paragonabile a quello prodotto da un operatore umano efficiente. L'obiettivo dell'azienda è quello di avere a breve una schiera di Yumi operativi 24 ore al giorno. Se ad esempio un supervisore è in grado di seguire cinque Yumi, le prospettive si faranno davvero interessanti (Automazione-plus, 2015).



Figura 2.3 : Yumi installa un chip di memoria su chiavette USB in formato carta di credito (ABB, 2017)

2.2 FANUC CR-4iA, CR-7iA, CR-7iA/L, CR-35iA

Forte di un'esperienza consolidata che registra oltre 400.000 robot industriali installati nel mondo, FANUC ha recentemente introdotto una speciale linea di robot collaborativi, caratterizzata dalla copertura in morbida gomma verde. I modelli attualmente disponibili sono : CR-4iA, CR-7iA, CR-7iA/L e CR-35iA (Figura 2.9). CR-4iA è il robot collaborativo più piccolo della gamma, con sei assi, un braccio di 550 mm ed una portata massima di 4 kg. E' in grado di gestire attività leggere ripetitive e altamente manuali. La sua natura compatta consente di eseguire i lavori più piccoli in aree con spazi limitati. Il montaggio a muro o capovolto consente di eseguire una vasta gamma di movimenti senza interferire con lo spazio di lavoro dell'operatore. Può collaborare anche su attività più complesse che richiedono un lavoro più interattivo tra robot e operatore come ad esempio: il robot gestisce i componenti e l'operatore il

controllo qualità. Oltre al design compatto e snello, la funzione di arresto di sicurezza consente di collaborare con gli operatori senza la presenza di protezioni aggiuntive. Questa funzione speciale aumenta lo spazio disponibile e riduce in modo considerevole i costi.

CR-7iA (con braccio di 717 mm) e CR-7iA/L (con braccio di 911) sono due formati abbastanza simili : uno con braccio standard ed uno con braccio lungo ma hanno la stessa capacità di carico (7kg). I vantaggi di ciascuna versione dipendono dalle esigenze del cliente: il braccio standard è ideale in caso di problemi di spazio, mentre il braccio lungo presenta una portata maggiore per ambienti di lavoro più ampi. In base alle esigenze del cliente è possibile programmarli per l'esecuzione di interi flussi di produzione che richiedono livelli di qualità affidabili e costanti. Le attività in questione spaziano dall'assemblaggio di piccoli componenti ad attività molto ripetitive (es. spostamento di oggetti da una parte all'altra). La versione con il braccio di 911 mm è la soluzione ideale per le applicazioni di pallettizzazione e asservimento delle macchine. Non occorrono barriere: la comprovata tecnologia del sensore integrato si arresta in automatico in caso di collisione con oggetti fissi o umani.

CR-35iA ha una capacità di carico di 35 kg, l'estensione del braccio fino a 1.813 mm e 6 assi di movimento che rendono la scelta ideale per svolgere tutti quei lavori ripetitivi che prevedono la movimentazione di carichi pesanti, tipici dei settori automotive, packaging e distribuzione e lavorazione dei metalli. Grazie a carichi da 4 kg, 7 kg e 35 kg la serie CR è adatta per processi di movimentazione che espongono l'operatore umano al rischio di sforzi ripetitivi. Questa serie di robot collaborativi presenta benefici in termini di qualità e ripetibilità in quanto il robot a causa della sua forza risulta essere più preciso dell'operatore. La serie CR è fornita da un sistema di protezione chiamato "collision stop". Lo stop avviene delicatamente dopo la collisione con persone o cose. Il sistema di sicurezza assicura che il robot si fermi ad un massimo di 150 N ma questa forza limite può essere ridotta se necessario (FANUC, 2017).

2.2.1 Applicazioni FANUC

Per un layout più flessibile i cobot CR-4iA, CR-7iA, CR-7iA/L, CR-35iA possono essere montati alla rovescia, montati a muro o su piattaforme mobili (FANUC, 2017). Si possono trovare nei seguenti processi:

- **Assemblaggio:** i modelli CR sollevano e posizionano componenti



Figura 2.4: Assemblaggio (FANUC, 2017)

pesanti sulla linea di lavorazione e assemblaggio per prevenire il rischio di danni dovuti agli sforzi tra linea di assemblaggio e lavoratori (Figura 2.4).

- **Ispezione di parti:** la serie CR è adatta per questo tipo di applicazione in quanto è necessario frequentemente la presenza dell'operatore nelle



Figura 2.5: Ispezioni di parti (FANUC, 2017)

fasi di carico e scarico delle parti ispezionate. Il robot gestisce i componenti e l'operatore il controllo qualità (Figura 2.5).

- **Prelievo, confezionamento e pallettizzazione:** sulle linee di



Figura 2.6: Prelievo, confezionamento e pallettizzazione (FANUC, 2017)

confezionamento e pallettizzazione, la serie CR può essere usata per portare a termine attività di handling che possono essere noiose, ripetitive e sporche dando

spazio agli operatori per attività più complesse e diversificate tra loro (Figura 2.6).

- **Dispensing:** se i cobot si usano per applicare sigilli, adesivi, vernice o



altri fluidi, la serie CR lavora in modo sicuro in prossimità dell'operatore (Figura 2.7).

Figura 2.7: Dispensing (FANUC, 2017)

Nell'applicazione realizzata da Robot System Automation, il robot collaborativo CR-7iA lavora fianco a fianco dell'uomo per realizzare calzature sportive. Lungi dal sostituire il personale umano, il robot collaborativo sgrava gli operatori dalle operazioni più ripetitive e faticose, come il prelievo delle parti e il carico/scarico delle presse deputate all'incollaggio di suola e tomaia. Le calzature sportive si dividono secondo due metodi di produzione: per iniezione, con suola in sintetico stampata direttamente sulla tomaia, caratterizzato da elevata industrializzazione ma quota di mercato limitata (15% circa); e per incollaggio, dove suola e tomaia vengono realizzate separatamente e successivamente incollate. Soffermadosi sul metodo ad iniezione spostare l'oggetto da una stazione all'altra è un'operazione molto semplice e ripetitiva, mentre incollare le due parti è più difficile e scomodo. Per questo motivo si è pensato di coinvolgere il robot collaborativo, che preleva le parti dal nastro trasportatore, le porge all'operatore che si occupa di farle aderire una all'altra, posiziona la scarpa nella pressa e poi la scarica (Figura 2.8) (Automazione-plus, 2017).



Figura 2.8: Cobot FANUC CR-7iA nel settore calzaturiero (Fanuc, 2017)

Specifications	CR-4iA	CR-7iA	CR-7iA/L	CR-35iA
Type: articulated	•	•	•	•
Controlled axes	6	6	6	6
Max. load capacity at wrist [kg]	4	7	7	35
Reach [mm]	550	717	911	1813
Repeatability [mm] *1)	±0.013	±0.018	±0.018	±0.04
Mass [kg] *2)	48	53	55	990
Installation: floor upside down wall *3)	• • •	• • •	• • •	• - -
Motion range				
J1 axis rotation [°]	340	340	340	370
J2 axis rotation [°]	150	166	166	165
J3 axis rotation [°]	354	373	383	258
J4 axis wrist rotation [°]	380	380	380	400
J5 axis wrist swing [°]	200	240	240	220
J6 axis wrist rotation [°]	720	720	720	900
Max. speed [mm / s] *4)	500 / 1000 *5)	500 / 1000 *5)	500 / 1000 *5)	250 / 750 *5)
Allowable load moment at wrist				
J4 axis [Nm]	8.86	16.6	16.6	110
J5 axis [Nm]	8.86	16.6	16.6	110
J6 axis [Nm]	4.9	9.4	9.4	60
Allowable load inertia at wrist				
J4 axis [kgm ²]	0.2	0.47	0.47	4
J5 axis [kgm ²]	0.2	0.47	0.47	4
J6 axis [kgm ²]	0.067	0.15	0.15	1.5
Installation environment				
Acoustic noise level [dB]	64.7	64.7	64.7	< 70
Ambient operating temperature [°C]	0-45	0-45	0-45	0-45
Protection				
Body standard/optional	IP67	IP67	IP67	IP54
Wrist & J3 arm standard/optional	IP67	IP67	IP67	IP67
• standard *1) ISO 9283 *2) without controller *3) In case of the wall mount, the operation space will be restricted according with the payload. *4) In case of short distance motion, the speed may not reach the maximum value stated. *5) if the area is monitored by a safety sensor (located separately)				

Figura 2.9: Caratteristiche tecniche dei cobot FANUC (FANUC, 2017)

2.3 UNIVERSAL ROBOTS UR3, UR5, UR10

I robot UR possono essere implementati praticamente in qualsiasi settore industriale, in qualsiasi processo e facilmente gestibili da parte di qualsiasi dipendente. I robot UR possono automatizzare dall'assemblaggio alla verniciatura, dall'avvitatura all'etichettatura, dal confezionamento alla lucidatura, dallo stampaggio a iniezione a qualsiasi altra operazione. Grazie alla loro flessibilità i robot UR sono anche economicamente adatti ai processi produttivi caratterizzati da piccoli lotti e mix di prodotto (Universal Robots, 2017).



Figura 2.10: Gamma di robot collaborativi Universal Robots (Universal Robot, 2017)

La gamma UR è composta da UR3, UR5 e UR10 (Figura 2.10), così denominati in base alla rispettiva capacità di carico in kg, e tutti dotati di avanzate capacità collaborative. Per questo sono i cobot più utilizzati nelle linee di produzione e si possono così riassumere:

- **UR3:** Il più piccolo della gamma, UR3 è la scelta perfetta per compiti leggeri di assemblaggio e lavori che richiedono un'assoluta precisione. Con una rotazione di 360 gradi su tutti i giunti ed una rotazione infinita sull'articolazione finale, UR3 è il robot più piccolo, versatile e

collaborativo attualmente sul mercato. Inoltre automatizza operazioni fino a 3kg ed ha uno sbraccio fino a 500 mm.

- **UR5:** leggermente più grande, UR5 è ideale per automatizzare operazioni con media portata, come manipolazione e collaudo. Questo robot è facile da programmare, rapido da installare e, proprio come gli altri robot collaborativi della gamma UR, offre uno dei periodi di recupero dell'investimento più rapidi del settore (195 giorni). Inoltre automatizza operazioni fino a 5 kg ed ha uno sbraccio fino a 850 mm.
- **UR10:** Il robot più grande nella gamma, UR10 garantisce elevata precisione e maggiore capacità di carico, automatizzando operazioni con payload fino a 10 kg (Figura 2.16). Grazie ad un raggio orizzontale di 1300 mm, il robot UR10 è adatto in particolare al confezionamento, alla pallettizzazione, all'assemblaggio e manipolazione, laddove sia richiesta una maggiore area operativa (Universal Robots, 2017).

2.3.1 Applicazioni UNIVERSAL ROBOTS

UR3 è il robot scelto da Rupes per l'applicazione di avvitatura collaborativa. Rupes è un'azienda italiana con sede a Vermezzo in provincia di Milano che dagli anni '50 produce utensili elettrici. All'inizio dell'attività l'azienda si era concentrata sugli utensili di rettifica e sui trapani per poi, via via, estendere la produzione ad altri utensili e divenire progressivamente il punto di riferimento per i prodotti dedicati alla lucidatura e alla levigatura a livello mondiale. L'assemblaggio degli utensili è sempre avvenuto attraverso operazioni manuali di avvitatura, quindi con impiego della forza degli operatori. La necessità crescente, tuttavia di eliminare progressivamente potenziali difetti di produzione che danno luogo a scarti, ha portato Rupes a investire in automazione industriale fino all'inserimento di robot collaborativi nelle proprie linee. La scelta è caduta sui robot collaborativi Universal Robots. Una scelta che, in brevissimo tempo, si è dimostrata vincente e ha consentito di aumentare e mantenere elevata la qualità dei prodotti realizzati e di raggiungere la soglia desiderata dello 'zero difetti' (che equivale allo 'zero

scarti’) dando vita a un processo di reale Lean Manufacturing sotteso da una strategia di Lean Intelligence.



Figura 2.11: UR3 nell'applicazione attiva in Rupes (Automazione-plus, 2017)

Oltre ai vantaggi nativi dei robot UR, l'applicazione presenta due fattori di interesse. Il primo è connesso alla sicurezza: il robot, nell'applicazione attiva in Rupes (Figura 2.11), non è fermo in una sola posizione, ma si muove su una rotaia che gli consente di traslare la propria posizione e aumentare, quindi, l'area operativa. Per mantenere la massima collaborazione possibile è stata dunque pensata una soluzione in grado di garantire la sicurezza intrinseca dell'applicazione. Un ulteriore aspetto di innovazione apportato dal robot UR è nella fase di avvitatura. Il robot, infatti, è in grado di adattare la rotazione dell'asse 6, che ha rotazione infinita, (Figura 2.13) in funzione del puntamento della vite. Questo è un fattore determinante per garantire avvitatura e serraggio finale corretti e senza rotture. Se la vite, infatti, non dovesse essere inserita nella posizione perfetta, non si corre alcun pericolo di rottura/scarto/fermo produzione. Il robot segue la posizione impostata e solo al termine dell'avvitatura, grazie alle dotazioni software di base e alla gestione perfetta del controllo di forza, effettua il serraggio conclusivo (Automazione-plus, 2017).

UR5 è il robot collaborativo scelto da Cascina Italia per l'impianto di confezionamento (Figura 2.12). La macchina è stata installata in una delle 24 unità produttive in uscita e maneggia circa 1,5 milioni di uova al giorno senza il bisogno di recinzioni. La natura estremamente competitiva del mercato alimentare di prodotti freschi richiede una rapida reazione alle richieste di mercato. Per agire in questo contesto in maniera efficiente Cascina Italia deve ottimizzare i processi interni e liberare risorse ma le soluzioni di robot tradizionali possono essere care e difficili da implementare in un ambiente di produzione come il suo. Cascina Italia ha uno spazio limitato per ulteriori attrezzature, per cui qualunque soluzione venga scelta dev'essere installata nelle immediate vicinanze del personale. In questo caso la delicatezza con cui vengono confezionate le uova è di fondamentale importanza. L'intensità della presa può essere programmata e resa particolarmente cauta servendosi di gripper elettrici con controllo di forza, oppure tramite ventose che la esercitano sotto forma di vacuum gripper, cioè sottovuoto.



Figura 2.12: UR5 in Cascina Italia (UR, 2017)

Organi di presa così precisi, e al tempo stesso delicati, sono in grado di inscatolare pure pacchetti di cracker o pomodori al giusto grado di maturazione, calibrando anche l'ampiezza del movimento.

La robotica nella logistica dedicata all'alimentare fresco e freddo può effettuare le operazioni a minor valore aggiunto sollevando l'operatore dalle attività logoranti, noiose e poco ergonomiche dalle quali possono derivare problemi per la salute (Logisticaneews, 2017).

Il gruppo automobilistico Volkswagen ha inserito nella produzione di motori del suo stabilimento di Salzgitter, nella Bassa Sassonia, in Germania, un braccio robotico industriale del produttore danese Universal Robots. Il robot UR5 è installato nel reparto dedicato alle testate dove provvede a manipolare delicatamente le candele (Figura 2.13). La vera novità è che si tratta del primo robot collaborativo introdotto negli stabilimenti Volkswagen di tutto il mondo.



Figura 2.13: UR5 nello stabilimento Volkswagen (Automazione-plus, 2013)

Il robot a sei assi UR5 di Universal Robots afferra con delicatezza le fragili candele, fornite da un sistema di separazione appositamente progettato, e le

inserisce nei fori difficilmente accessibili. Un operaio, poi, ha la responsabilità di fissare le candele e isolare la testata, passo necessario per la successiva fase di produzione. Grazie alla collaborazione diretta con il robot, che fa da assistente, l'operaio può completare queste attività assumendo una sana posizione eretta. In questo modo può monitorare senza interruzione il processo ed eventualmente, intervenire rapidamente.

Altro esempio di applicazione collaborativa è possibile trovarla nello stabilimento BMW in Spartanburg. In questo caso viene impiegato un robot UR10 della Universal-Robots per depositare materiale di sigillatura sulle superfici delle portiere delle auto, in modo tale da rendere l'abitacolo isolato dalle infiltrazioni d'acqua e dai rumori esterni (Figura 2.14).

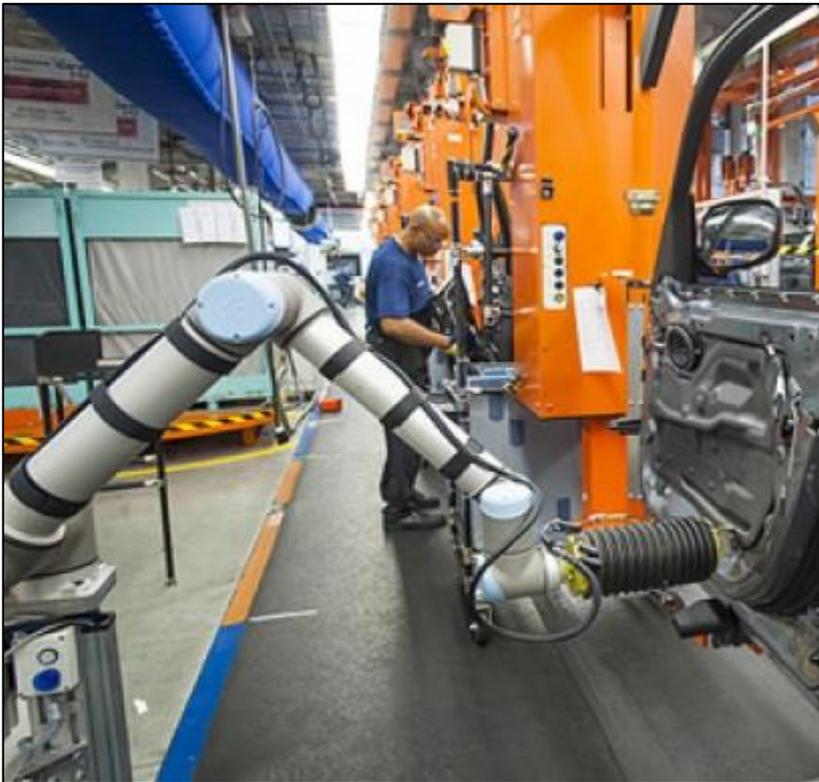


Figura 2.14: UR10 nello stabilimento BMW (Masinga, 2015)

Senza un robot collaborativo particolarmente preciso l'operaio avrebbe dovuto piegarsi ogni volta, assumendo posizioni scomode e logoranti, portare utensili pesanti, rallentando la produzione e aumentando la fatica. L'assunzione di posizioni scomode, per nulla ergonomiche, per otto ore di lavoro al giorno significava logorare le persone e aumentare il malcontento tra gli operai.

UR10 è il robot scelto da Nortura (Figura 2.15), cooperativa agricola norvegese con sede a Oslo, che produce una gamma di carni lavorate e insaccati distribuite, con diversi marchi, su tutto il territorio nazionale. La scelta del robot UR10, macchina con payload di 10 kg e sbraccio di 1.3 m (Figura 2.14), è stata legata a necessità precise: i robot pallettizzatori normali richiedono, infatti, una cella fissa di grandi dimensioni con protezioni di sicurezza, mentre Nortura aveva la necessità di pallettizzare continuamente senza interrompere il lavoro, e di poter contare su gran flessibilità per utilizzare lo spazio per altri processi in caso di assenza dei pallet. L'applicazione da svolgere era un carico e scarico di scatole di dimensioni e pesi diversi che, in funzione delle caratteristiche del layout produttivo, non poteva che essere svolta da un robot antropomorfo a 6 assi. Con l'aiuto dei propri partner, Nortura ha avviato un'area di lavoro con un Universal Robots UR10 integrato con un sistema di visione. La camera è stata fissata al soffitto sopra l'area di lavoro del robot a sua volta fissato su un supporto studiato ad hoc e dotato di una pinza a vuoto. In modalità standby lo spazio occupato dal robot è 0,5 m² l'area di lavoro da raggiungere è semplicemente evidenziata da uno spazio verniciato sul pavimento che indica dove gli operatori posizionano pallet vuoti. Lo spazio effettivo occupato è tra il 10 e il 20% di quello che avrebbe occupato una cella robotizzata di pallettizzazione classico. Inoltre non essere sempre presente pallet, che vengono posizionati solo all'occorrenza, è come se l'area di lavoro, nei fatti, non esistesse. Quando invece, un pallet libero viene posizionato sul pavimento, il sistema di visione lo rileva automaticamente insieme alle scatole che si muovono sul nastro trasportatore e il robot inizia automaticamente la pallettizzazione. Nessun operatore, quindi, deve avviare l'automazione. Il robot viene messo in funzione dall'integrazione non appena lo spazio di pallettizzazione viene occupato. Il robot, inoltre, grazie alle proprie caratteristiche di flessibilità e di semplicità di utilizzo e programmazione, può movimentare e impilare scatole di diverse dimensioni e con lo schema di composizione preferito dal cliente. Un ulteriore vantaggio dell'applicazione è che l'UR10 può eseguire una verifica degli errori per le

macchine che precedono sulla linea di produzione. Mentre un operatore potrebbe non notare se una scatola è stata riempita in modo scorretto, il robot misura il peso di ciascuna scatola, lavorando 20 pallet al giorno per 1.700 scatole, e segnala se, per caso, arriva dalla linea con un numero inferiore di pezzi al suo interno. Gli altri due aspetti che sono stati graditi all'azienda sono la sicurezza che consente al robot di lavorare a stretto contatto con le persone e il ritorno dell'investimento. In tema di sicurezza, l'Universal Robots UR10, ad esempio, si blocca automaticamente se incontra qualcosa che non fa parte del percorso programmato o se si trova nell'area di lavoro, anche di una persona, che occupa lo spazio di un pallet vuoto. A livello di ROI Nortura ha stimato in meno di un anno il tempo di recupero dell'investimento (Logisticnews, 2017).



Figura 2.15: Pallettizzazione in Nortura (Universal Robots, 2017)

	UR3	UR5	UR10
Prestazioni			
Ripetibilità	±0.1 mm / ±0.0039 in (4 mila)	±0.1 mm / ±0.0039 in (4 mila)	±0.1 mm / ±0.0039 in (4 mila)
Gamma di temperatura ambiente	0-50* ^A	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
Base	± 360°	± 180°/Sec.	± 360°
Spalla	± 360°	± 180°/Sec.	± 360°
Gomito	± 360°	± 180°/Sec.	± 360°
Polso 1	± 360°	± 360°/Sec.	± 360°
Polso 2	± 360°	± 360°/Sec.	± 360°
Polso 3	Infinita	± 360°/Sec.	± 360°
Tool center point		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.			

Figura 2.16: Scheda tecnica dei robot collaborativi Universal Robots (Universal Robots, 2017)

2.4 YASKAWA Motoman HC 10

Lo Yaskawa Motoman HC10 (HC acronimo di Human Collaborative) è il primo robot collaborativo ad essere introdotto da Yaskawa al di fuori del Giappone. Il prototipo, con uno sbraccio di 1,2 m e con 10 kg di portata (Figura 2.21), è progettato per essere certificato secondo la specifica tecnica ISO TS15066. Il robot HC10 garantisce la sicurezza necessaria a diretto contatto con l'operatore mediante un sensore di forza/coppia sofisticato su ogni asse, consentendo l'interazione flessibile tra il braccio del robot e il suo ambiente. L'HC10 non richiede misure di protezione supplementari, per esempio una recinzione protettiva, risparmiando spazio e costi. L'installazione è estremamente flessibile e adatta ad una vasta tipologia di stazioni di lavoro. Oltre agli aspetti di sicurezza, l'obiettivo principale nella progettazione del nuovo HC10 riguarda il funzionamento particolarmente user-friendly. La programmazione può essere infatti eseguita come "Easy teaching", con la funzione manuale "Smart HUB" ossia istruzione e programmazione precisa guidando il braccio robot con le mani. Il braccio robot è stato progettato per evitare urti pericolosi ed in caso di arresto per un contatto, il robot può essere riattivato direttamente dal manipolatore stesso. Il passaggio dei cavi interni e il cablaggio, per esempio, garantiscono un elevato grado di affidabilità e design smussato (Logisticnews, 2016).

2.4.1 Applicazioni Yaskawa

Le specifiche descritte nella pagina precedente permettono al robot HC10 di lavorare con gli esseri umani in un'ampia gamma di applicazioni (YASKAWA, 2017) :

- **Assemblaggio:** HC10 può stringere viti (Figura 2.17) ed eseguire



Figura 2.17: Assemblaggio
(YASKAWA, 2017)

operazioni di assemblaggio proprio a fianco dell'operatore umano. Questo migliora la produttività di stabilimento e consente di realizzare produzioni diversificate in piccole quantità.

- **Prelievo:** HC10 è capace di raggruppare, allineare e imballare diversi



Figura 2.18: Prelievo
(YASKAWA, 2017)

prodotti come prodotti alimentari e containers. Inoltre questo cobot può anche riconoscere pezzi ed eseguire operazioni di imballaggio in combinazione con dei sensori di visione (Figura 2.18).

- **Trasferimento di pezzi:** HC10 può trasferire piccoli pezzi entro



Figura 2.19: Trasferimento di pezzi
(YASKAWA, 2017)

l'area di lavoro o tra attrezzature aiutando così a minimizzare la dimensione dell'area di lavoro e risparmiando spazio (Figura 2.19).

- **Controllo qualità:** HC10 può sigillare, identificare difetti nei prodotti e prelevarli tramite dei sensori di calcolo o di visione (Figura 2.20).

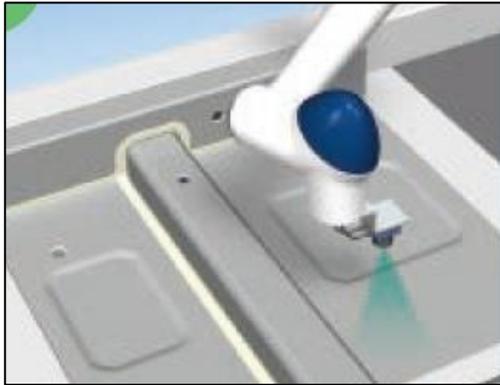


Figura 2.20: Controllo qualità (YASKAWA, 2017)

Items		Specifications
Type		YR-1-06VXHC10-A00
Controlled Axis		6 (vertically articulated)
Payload*1		10 kg
Repeatability*2		± 0.1 mm
Range of Motion	S -axis (turning)	-180° - +180°
	L -axis (lower arm)	-180° - +180°
	U -axis (upper arm)	-5° - +355°
	R -axis (roll)	-180° - +180°
	B -axis (pitch/yaw)	-180° - +180°
	T -axis (twist)	-180° - +180°
Maximum Speed	S -axis (turning)	2.27 rad/s, 130° /s
	L -axis (lower arm)	2.27 rad/s, 130° /s
	U -axis (upper arm)	3.14 rad/s, 180° /s
	R -axis (roll)	3.14 rad/s, 180° /s
	B -axis (pitch/yaw)	4.36 rad/s, 250° /s
	T -axis (twist)	4.36 rad/s, 250° /s
Allowable Moment	R -axis (roll)	27.4 N·m
	B -axis (pitch/yaw)	27.4 N·m
	T -axis (twist)	9.8 N·m
Allowable Inertia (GD ² /4)	R -axis (roll)	0.78 kg · m ²
	B -axis (pitch/yaw)	0.78 kg · m ²
	T -axis (twist)	0.10 kg · m ²
Approx. Robot Mass		47 kg
Protected Structure		IP20
Ambient Conditions	Temperature	0 °C to +40 °C
	Humidity	20% to 80%RH (non-condensing)
	Vibration	4.9 m/s ² or less
	Others	Free from corrosive gas or liquid, or explosive gas or liquid Free from exposure to water, oil, or dust Free from excessive electrical noise (plasma)
Power Requirements*3		1.0 kVA
Mounting		Floor, ceiling, wall, tilt
*1: U arm payload capacity will vary according to payload carried by wrist. *2: Conforms to ISO 9283. *3: Varies in accordance with applications and motion patterns. Note: SI units are used for specifications.		

Figura 2.21: Caratteristiche tecniche (YASKAWA, 2017)

2.5 KUKA LBR iiwa

Quaranta anni dopo il primo utilizzo del robot industriale, KUKA si sta aprendo verso nuovi scenari nella storia industriale della robotica con LBR iiwa. LBR sta per “Leichtbauroboter” (in tedesco robot leggero), “iiwa” per “intelligent industrial work assistant” . LBR iiwa ha sensori di coppia ai giunti integrati in tutti e sette gli assi. Inoltre è possibile trovare due modelli di robot collaborativi : LBR iiwa 7 R800 e LBR iiwa 14 R820 (Figura 2.24). Il primo ha un peso di appena 23.9 kg ed una capacità di carico di 7 kg, il secondo invece ha un peso 29.9 kg ed una capacità di carico di 14 kg. Inoltre i giunti e i gradi di libertà possono essere programmati individualmente. Grazie all’implementazione di tecnologie di sicurezza, questi robot rispondono alla minima forza esterna permettendo così una collisione sicura. In caso di contatto improvviso LBR iiwa riduce la sua velocità in un istante limitando la sua energia cinetica ad un valore tale da non provocare danni a persone o cose. Questo permette all’operatore di condividere spazi di lavoro e attività con il robot collaborativo. LBR iiwa è fatto interamente in alluminio essendo così più leggero e sicuro e grazie al suo design semplificato senza spigoli ha eliminato il pericolo di tagli. LBR iiwa gioca un ruolo fondamentale nello scenario della produzione futura in quanto si sta preparando per la massima personalizzazione del cliente. Allo stesso tempo esso è modulare, facile da programmare grazie ad una tecnologia Java in quanto è il linguaggio di programmazione più usato nel mondo. Il basso peso del robot collaborativo permette di essere montato su un carrello lavorando così in diverse aree in base alle differenti specifiche agendo in maniera collaborativa o da solo (KUKA, 2017).

2.5.1 Applicazioni KUKA

LBR iiwa trova applicazione nello stabilimento di Bosch Siemens Hausgerate (Figura 2.22), azienda tedesca produttrice di elettrodomestici di livello internazionale. Questo robot è impegnato nella fase di avvitatura di connessioni per lavastoviglie. Se il componente in lavorazione non è perfettamente equilibrato, il robot ricalibra il telaio della lavastoviglie (Figura 2.22).



Figura 2.22: Avvitatura (KUKA, 2017)

Una seconda applicazione di LBR iiwa è attiva nello stabilimento di BMW a Dingolfing (Germania). In questo stabilimento l'assemblaggio di diversi assi anteriori di trasmissioni avviene in maniera automatica riducendo così lo stress dell'operatore (Figura 2.23). I pezzi pesano fino a 5,5 kg e sono difficili da stringere con millimetri di precisione. Grazie alla collaborazione tra uomo e robot questa operazione avviene in meno di 30 secondi (KUKA, 2017).



Figura 2.23: Assemblaggio asse anteriore di trasmissione (KUKA, 2017)

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 /		LBR iiwa 7 kg		LBR iiwa 14 kg	
Range of motion		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			Power supply connection		
Processor	Quad-core processor		Rated supply voltage	AC 110 V to 230 V	
Hard drive	SSD		Permissible tolerance of rated voltage	± 10 %	
Interfaces	USB, EtherNet, DVI-I		Mains frequency	50 Hz ± 1 Hz or 60 Hz ± 1 Hz	
Protection rating	IP20		Mains-side fusing	2 x 16 A slow-blowing	
Dimensions (D x W x H)	500 mm x 483 mm x 190 mm				
Weight	23 kg			30,000 operating hours	

Figura 2.24: Scheda tecnica LBR iiwa (KUKA, 2017)

2.6 RETHINK ROBOTICS BAXTER E SAWYER

Baxter è stato il primo robot collaborativo con 2 bracci introdotto nel 2012 rivoluzionando così il mondo manifatturiero. Oggi molte industrie si affidano a Baxter (Figura 2.25) per attività ripetitive di produzione ottenendo un significativo vantaggio competitivo nel loro business. Baxter è una soluzione per attività come il packing, kitting, loading e movimentazione dei materiali. Inoltre lavora in maniera sicura e interattiva con l'operatore senza alcuna

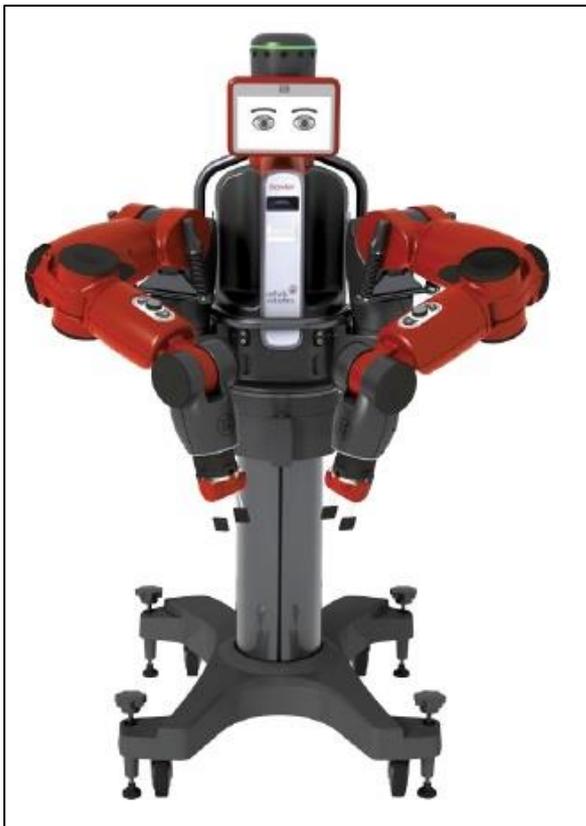


Figura 2.25: Baxter (Rethink Robotics, 2015)

gabbia, e può essere manualmente impostato in pochi minuti. Baxter è caratterizzato da 7 gradi di libertà per braccio, ognuno con capacità massima di allungarsi di 1210 mm (Figura 2.26), e può essere sviluppato per lavorare su due attività indipendenti in maniera tale da poter operare simultaneamente sulla stessa attività per massimizzare il risultato. Le competenze e le performance di Baxter sono in continuo sviluppo grazie ad una piattaforma chiamata "Intera", la quale permette di scaricare

software aggiornabili, permettendo così di accedere all'ultima funzionalità disponibile (Rethink Robotics, 2015).

Weight	165 lbs. without pedestal, 306 lbs. with optional pedestal	Safety by Inherent Design	Power and force limited compliant arm with series elastic actuators and embedded sensors
Degrees of Freedom	7 per arm	Embedded Force Sensing	Force sensors embedded at each joint, standard
Maximum Reach	1210 mm per arm	IP Classification	IP50 rating
Payload	5 lb. (2.2 kg) per arm	Power Requirement	Standard power outlet (120V, 6 amps)
Target Applications	Packaging, kitting, line loading, material handling, and more.	Operating Software	Intera™
Embedded Vision	Camera in each arm		

Figura 2.26: Caratteristiche tecniche di Baxter (Rethink Robotics, 2015)

Sawyer (Figura 2.27) invece è una versione riservata per attività che richiedono più precisione, come ad esempio nel testare circuiti di bordo stampati con precisione di 0,1 mm (Figura 2.29). Inoltre possiede una capacità di allungarsi di 1260 mm e 7 gradi libertà favorendo la sua operatività in stazioni di lavoro strette.

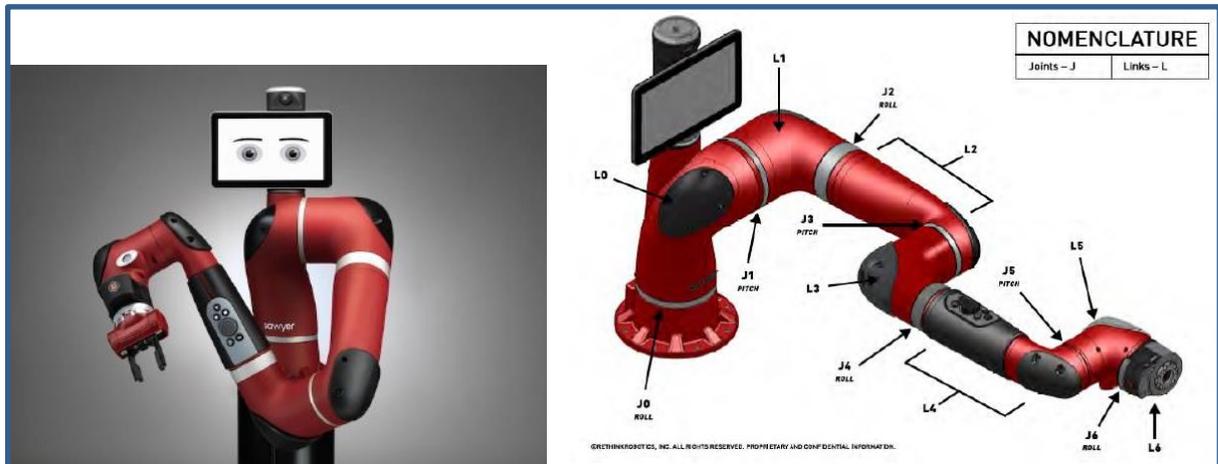


Figura 2.27: Sawyer (Rethink Robotics, 2015)

L'abilità di Sawyer è proprio quella di lavorare in qualsiasi spazio che presenta dei limiti fisici per il braccio. Infatti ogni giunto del cobot, eccetto J6 (polso), può ruotare massimo di 350 gradi. Inoltre la testa di Sawyer è un display LCD (Figura 2.28) dove si può guardare menù, espressione degli occhi, modificare schermate, etc. Contiene anche una videocamera e luci che

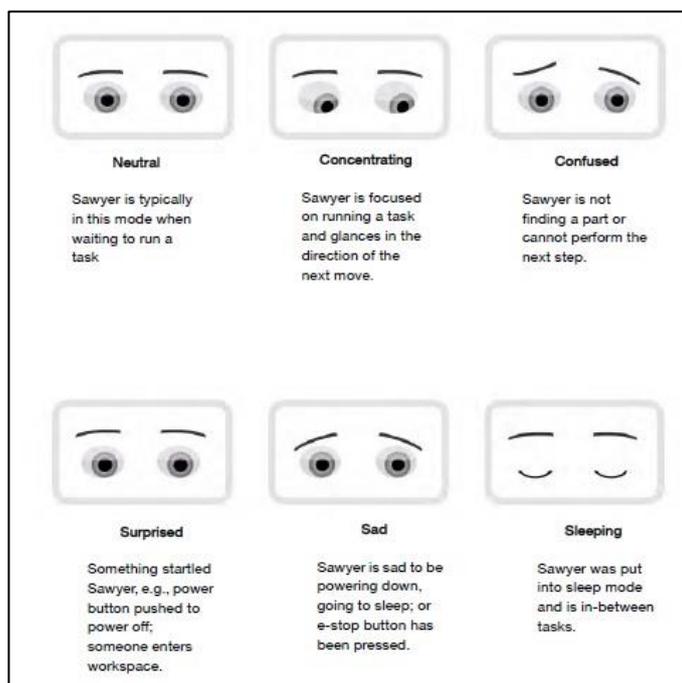


Figura 2.28: Sawyer Display (Rethink Robotics, 2015)

comunicano le condizioni del cobot e può essere spostata lungo lo stesso giunto/asse dove si sta muovendo con una rotazione massima di 350 gradi.

CARATTERISTICHE TECNICHE	
• Peso (senza piedistallo): 19 kg (42 lbs.)	• Sicurezza by Inherent Design: Braccio conforme alle normative grazie alle limitazioni di potenza e forza
• Gradi di libertà: 7	• Classificazione IP: IP54 rating
• Massima estensione: 1260 mm	• Ciclo di vita: 35,000 hours
• Carico: 4 kg (8.8 lbs.)	• Software operativo: Intera™
• Task Repeatability: 0.1 mm	
• Visione integrata: Cognex camera sul polso, wide view camera sulla testa	
• Misura integrata della forza: Sensori di forza ad alta risoluzione integrati in ogni giunto	
• Alimentazione: 120V, 6 amps	

Figura 2.29: Caratteristiche tecniche Sawyer (Rethink Robotics, 2015)

2.7 COMAU NJ4, RACER 3

Il progetto presentato da Comau, Advanced Use Robot Arm (AURA), è l'integrazione di diverse tecnologie in quanto diventa possibile garantire la necessaria sicurezza per una reale e costante cooperazione tra macchina e uomo. AURA, infatti, è una tipologia di robot ricoperto da una speciale pelle protettiva sotto la quale coesistono sensori di forza, percettivi e di torsione. Il sistema cooperativo sfrutta inoltre l'integrazione di un sistema di visione e di laser scanner. E' proprio la combinazione di tutta questa tecnologia il fattore abilitante che consente agli operatori sia di muoversi in totale sicurezza nello spazio di lavoro che condividono con un robot, sia di guidare l'azione di quest'ultimo. Direttamente, con la guida manuale, o la possibilità di fargli mutare la traiettoria semplicemente toccandoli; indirettamente proprio grazie all'interazione con la sensoristica applicata al robot e all'intera area di lavoro. Esattamente come accade tra persone, i robot collaborativi di oggi recepiscono cosa accade nell'area accanto e si comportano di conseguenza. Se fino ad oggi le soluzioni di robotica collaborativa hanno riguardato macchine di piccola taglia e con basso payload, la soluzione AURA consente la trasformazione di un robot "tradizionale" in robot collaborativo anche per macchine ad elevato payload in grado quindi di applicarsi ad attività pesanti. Un esempio su tutti sono le manipolazioni che avvengono nell'assemblaggio finale di un'automobile, come il posizionamento del cruscotto, dei sedili o delle batterie. Nulla vieta, tuttavia, l'applicazione in altri contesti come piegatura,

altre lavorazioni meccaniche o altri asservimenti. Dipende dalla configurazione richiesta e dal livello di integrazione/cooperazione necessario da attivare. Ogni operazione svolta avviene inoltre senza l'ausilio di alcuna barriera protettiva e questo significa un forte risparmio di costi in termini di hardware ridondante e di layout in fabbrica (Logisticaneews, 2016).

L'idea di COMAU è iniziata considerando che i loro clienti non potevano rinunciare ai vantaggi dei robot industriali, come ad esempio alti payload e flessibilità. Il principale vantaggio della produzione di massa sarà quello di avere la possibilità di comprare un robot che potrebbe essere considerato collaborativo e non collaborativo allo stesso tempo, secondo le attività richieste durante il ciclo di produzione. Tutto questo è garantito da un sistema di Vision/Laser che rileva la presenza umana in prossimità del cobot, mandando un segnale al robot con lo scopo di cambiare lo stato della macchina da standard a collaborativo. "The SKIN" (Figura 2.30), è stata sviluppata con la collaborazione dell'Università Sant'Anna di Pisa e le sue peculiarità sono:

- Capacitive Sensor Layer: rileva la prossimità dell'operatore.
- Piezo-electric Sensor Layer: rileva il contatto con l'operatore.
- Maggiore ergonomia.
- Grande modularità.
- Tecnologia brevettata.
- Facile da riparare.

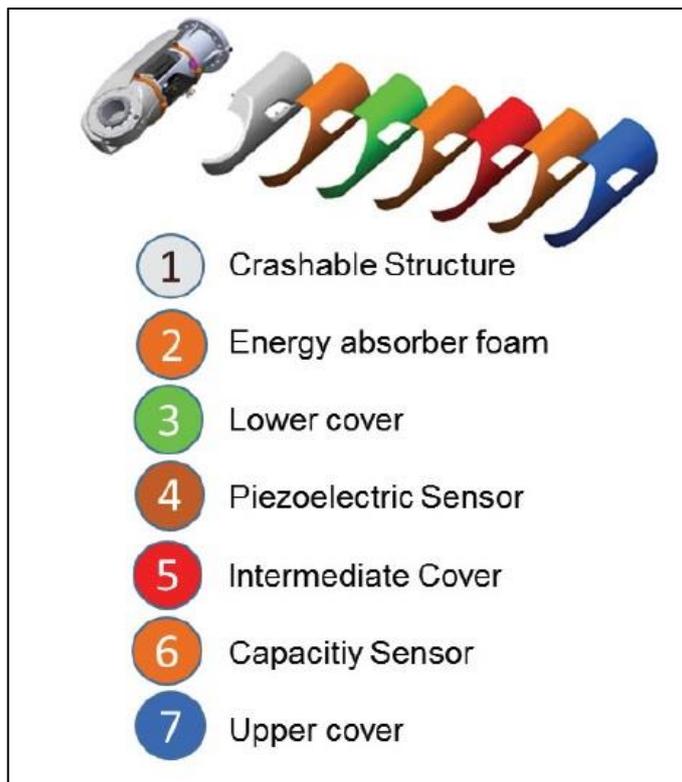


Figura 2.30 : Strati SKIN (Parodi e Gerio, 2017)

Il robot standard di COMAU ha la possibilità di lavorare in tre stati differenti:

- Program Mode;
- Automatic Mode;
- Remote Mode;

Sul robot AURA, progettato iniziando da un robot tradizionale, sono ancora presenti gli stati standard, ma Automatic e Remote Modes sono suddivisi in altri tre stati non selezionabili: quando il robot è nello stato Automatic o Remote, il laser scanner manda un input al robot che dipende dalla presenza umana a causa di uno degli stati selezionati:

- Standard Speed: il Laser scanner non rileva nessuna presenza umana.
- Collaborative Speed: il laser scanner rileva la presenza umana e automaticamente riduce la velocità del robot. Il sistema calcola il tempo necessario per raggiungere la velocità collaborativa e, se questo tempo non è sufficiente, ferma il robot attraverso la modalità Drive-off. Il riavvio sarà possibile solo premendo l'interruttore dell'armadietto del robot.

- Emergency stop:
 - Automatic Restart: il sensore AURA SKIN Proximity rileva la presenza umana e ferma i movimenti del robot. Successivamente riprende automaticamente il movimento dopo un certo tempo.
 - Manual Restart: i sensori AURA SKIN Proximity and Contact rilevano il contatto umano soft e fermano il robot. Il robot continua il movimento precedente solo quando l'operatore preme il bottone reset sul robot.
 - Drive Off: i sensori AURA SKIN Proximity and Contact rilevano un forte contatto con l'operatore e ferma immediatamente il robot. Il restart è possibile solo con il Drive-On dato sul teach pendant o su altri dispositivi fuori dalla zona di lavoro del robot (Parodi e Gerio, 2017).

2.7.1 Applicazioni AURA

Un esempio di questa tecnologia SKIN è possibile trovarlo nel robot NJ4 110 durante la fase di lucidatura in Maserati (Figura 2.31), anche se questo robot è presente in diverse applicazioni come mostrato in figura 2.30 . Inoltre questo robot ha un peso di 1070 kg, sei assi e payload massimo di 110 kg (Figura



Figura 2.31: Lucidatura (Comau, 2017)

2.32). AURA è dotato di tecnologia SKIN, laser scanner e sensore Force/Torque sulle flange del robot. In modo automatico, il movimento del robot inizia dalla sua posizione di partenza chiamata "Home" e finisce sul cofano dell'auto. Il laser scanner è usato per rilevare la presenza dell'operatore, il sensore F/T è usato invece per attivare

eventualmente la guida manuale. L'operatore potrebbe interagire con lo stop del robot attraverso un tocco delicato e far apprendere attraverso la guida manuale l'attività da svolgere. Quando l'attività di apprendimento è finita, il robot ricomincia automaticamente l'operazione di lucidatura (Parodi e Gerio, 2017).

Model	NJ 110 - 3.0		Suggested applications
Number of axes	6		<ul style="list-style-type: none"> • Assembly • Cosmetic Sealing • Dispensing • Handling / Packaging • Laser Welding Cutting • Machine Tending • Measuring / Testing • Plasma Cutting / Water Jet • Polishing / Deburring • Press Brake Bending • Press to Press • Process / Machining • Spot Welding • Wood / Glass Machining
Maximum wrist payload	110 kg		
Additional load on forearm	50 kg		
Maximum horizontal reach	2980 mm		
Torque on axis 4	638 Nm		
Torque on axis 5	638 Nm		
Torque on axis 6	291 Nm		
Stroke (Speed)	Axis 1	+/- 180° (110°/s)	
	Axis 2	+95° / -75° (110°/s)	
	Axis 3	-10° / -256° (110°/s)	
	Axis 4	+/- 280° (190°/s)	
	Axis 5	+/- 120° (190°/s)	
	Axis 6	+/- 2700° (230°/s)	
Repeatability	0.07 mm		
Tool coupling flange	ISO 9409 - 1 - A 125		
Robot weight	1070 kg		
Protection class	IP65 / IP67 Foundry Version		
Mounting position	Floor / Ceiling		

Figura 2.32: Specifiche tecniche NJ 110 (COMAU, 2017)

Un'altra applicazione collaborativa è possibile trovarla nella fase di Pick and Place della batteria in un'auto Maserati attraverso il robot NJ 60 avente un peso di 645 kg, 6 assi e payload massimo di 60 kg (Figura 2.33). Quest'applicazione è stata progettata per dimostrare come potrebbe essere facile movimentare oggetti pesanti con l'aiuto dei robot collaborativi. Grazie ai sensori F/T è possibile insegnare al robot, la posizione di picking. Quando il ciclo è stato ottimizzato, è consentito al robot di introdurre automaticamente la batteria che ha un peso di 26 kg dentro la vettura oppure attraverso la guida manuale se è la prima volta, e permettendo di finire l'operazione in Auto Mode.

Model	NJ 60 - 2.2		Suggested applications
Number of axes	6		<ul style="list-style-type: none"> • Arc Welding • Assembly • Cosmetic Sealing • Dispensing • Handling / Packaging • Laser Welding / Cutting • Machine Tending • Measuring / Testing • Plasma Cutting / Water Jet • Polishing / Deburring • Press Brake Bending • Press to Press • Process Machining • Wood / Glass Machining
Maximum wrist payload	60 kg		
Additional load on forearm	20 kg		
Maximum horizontal reach	2258 mm		
Torque on axis 4	221 Nm		
Torque on axis 5	221 Nm		
Torque on axis 6	118 Nm		
Stroke (Speed)	Axis 1	+/- 180° (170°/s)	
	Axis 2	-60° / +125° (150°/s)	
	Axis 3	0° / -165° (165°/s)	
	Axis 4	+/- 2700° (265°/s)	
	Axis 5	+/- 123° (250°/s)	
	Axis 6	+/- 2700° (340°/s)	
Repeatability	0.06 mm		
Tool coupling flange	ISO 9409 - 1 - A100		
Robot weight	645 kg		
Protection class	IP65 / IP67 Foundry Version		
Mounting position	Floor / Ceiling / Sloping (max 45°)		

Figura 2.33: Caratteristiche tecniche NJ 60 (COMAU, 2017)

La famiglia di robot RACER è caratterizzata da alte performance in termini di velocità, ripetibilità, accuratezza e flessibilità e copre tutti i livelli di payload, dal più basso fino a 650 kg. Inoltre è possibile sfruttare le sue caratteristiche in diverse applicazioni (Figura 2.35).

Nello specifico si è analizzato il robot Racer3 avente un peso di 30 kg, sei assi e con un payload massimo di 3 kg (Figura 2.35). Oltre alle applicazioni mostrate in Figura 2.35 un robot collaborativo Comau Racer3 AURA (Figura 2.34) è stato presentato dalla Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa nell'ambito del progetto di ricerca industriale Endoscopic Versatile robotic guidancE, diagnoSis and theraPy of magnetic-driven soft-tethered endoluminal robots (EndoVESPA), finanziato dalla Comunità Europea, che si propone di sviluppare una piattaforma robotica per colonscopia indolore. La piattaforma EndoVESPA consentirà di effettuare un esame diagnostico non invasivo del colon mediante l'utilizzo di una capsula endoscopica a locomozione magnetica anche con funzionalità chirurgiche.

La realizzazione del progetto EndoVESPA garantirà il superamento dei limiti delle attuali tecniche di colonscopia, come per esempio l'invasività della procedura, il dolore causato dall'utilizzo del colonscopio, la dipendenza dalle abilità dell'operatore, garantendo un elevato grado di diagnosi.



Comau, provider tecnologico e collaboratore industriale nel progetto, ha contribuito significativamente allo sviluppo della piattaforma robotica che comprende l'utilizzo del robot collaborativo Racer3 AURA per la movimentazione magnetica di una capsula robotica per procedure di colonscopia indolore (Associazione Italiana di Robotica e Automazione, 2017).

Figura 2.34: Robot collaborativo Racer3 AURA (COMAU, 2017)

Model	Racer3		Suggested applications
Number of axes	6		
Maximum wrist payload	3 kg		
Additional load on forearm	2 kg		
Maximum horizontal reach	630 mm		
Torque on axis 4	7.36 Nm		
Torque on axis 5	7.36 Nm		
Torque on axis 6	4.41 Nm		
Stroke (Speed)	Axis 1	+/- 170° (430 °/c)	
	Axis 2	-95°/+135° (450 °/c)	
	Axis 3	-155° / +90° (500 °/c)	
	Axis 4	+/- 200° (600 °/c)	
	Axis 5	+/- 125° (600 °/c)	
	Axis 6	+/- 2700° (900 °/c)	
Repeatability	0.02 mm		
Tool coupling flange	ISO 9409 - 1 - A 40		
Robot weight	30 kg		
Protection class	IP54		
Mounting position	Floor / Ceiling / Wall		

Figura 2.35: Specifiche tecniche Racer3 (COMAU, 2017)

2.8 Sintesi delle caratteristiche dei cobots

Nei paragrafi precedenti si è andati ad analizzare i principali cobot presenti sul mercato, riportando casi reali di applicazioni collaborative. In questo paragrafo invece si proporrà una suddivisione dei diversi modelli affrontati precedentemente attraverso una sintesi in base alle diverse caratteristiche tecniche:

- Numeri di assi;
- Capacità di carico;
- Estensione del braccio;
- Peso;
- Velocità;
- Applicazioni;
- Visione e sensori.

Tabella 2.1: Caratteristiche dei robot collaborativi (prima parte)

	Numero di assi	Capacità di carico	Estensione del braccio	Peso	Velocità	Applicazioni	Visione e Sensori
ABB YuMi	2 bracci, 7 assi per braccio	0,5 kg per braccio	500 mm	38 kg	TCP: 1,5 m/s	Assemblaggio di piccole parti, industria dei giocattoli e orologi	Sistema di visione sui terminali
FANUC CR-4iA	1 braccio, 6 assi	4 kg	550 mm	48 kg	TCP: 500/1000 mm/s	Controllo qualità	imbottitura esterna per monitorare l'impatto e bottone di riavvio rapido
FANUC CR-7iA/L	1 braccio, 6 assi	7 kg	911 mm	55 kg	TCP: 500/1000 mm/s	calzature sportive, pallettizzazione e asservimento macchine	imbottitura esterna per monitorare l'impatto e bottone di riavvio rapido
FANUC CR-7iA	1 braccio, 6 assi	7 kg	717 mm	53 kg	TCP: 500/1000 mm/s	calzature sportive, pallettizzazione e asservimento macchine	imbottitura esterna per monitorare l'impatto e bottone di riavvio rapido
FANUC CR-35iA	1 braccio, 6 assi	35 kg	1813 mm	990 kg	TCP: 250/750mm/s	automotive, confezionamento e lavorazione metalli	imbottitura esterna per monitorare l'impatto e bottone di riavvio rapido
UR3	1 braccio, 6 assi	3 kg	500 mm	11 kg	TCP: 1m/s	saldatura, incollaggio, avvitatura, prelievo e posizionamento	stop del braccio in caso di collisione

Tabella 2.1: Caratteristiche dei robot collaborativi (seconda parte)

UR5	1 braccio, 6 assi	5 kg	850 mm	18,4 kg	TCP: 1m/s	assemblaggio, confezionamento, prelievo e posizionamento	stop del braccio in caso di collisione
UR10	1 braccio, 6 assi	10 kg	1300 mm	28,9 kg	TCP: 1m/s	assemblaggio, confezionamento, prelievo e posizionamento	stop del braccio in caso di collisione
YASKAWA Motoman HC 10	1 braccio, 6 assi	10 kg	1200 mm	47 kg	giunti: da 130°/s a 250°/s	assemblaggio, prelievo e posizionamento, controllo qualità	doppio sensore di coppia per giunto
KUKA LBR iiwa	1 braccio, 7 assi	7 kg, 14 kg	7 kg: 911 mm, 14 kg: 931 mm	7 kg: 22,3 kg; 14 kg: 29,5 kg	giunti: 7 kg-90°/s a 180°/s; 14 kg-70°/s a 180°/s	assemblaggio, confezionamento, prelievo e posizionamento	posizione integrata e coppia di sensori in ogni giunto
BAXTER	2 bracci, 7 assi per braccio	2,3 kg	1041,4 mm	75 kg	TCP: 1m/s	prelievo e posizionamento, kitting, confezionamento	1 camera integrata per braccio, sensori di forza integrati, 1 camera frontale per rilevamento umano
SAWYER	1 braccio, 7 assi	4 kg	1026 mm	19 kg	1m/s senza capacità di carico; 0,6 m/s con	test di circuiti stampati, movimentazione materiali,	1 camera integrata al braccio, sensori di forza integrati, 1 camera frontale per rilevamento umano
COMAU RACER3	1 braccio, 6 assi	3 kg	630 mm	30 kg	giunti: da 430°/s a 900°/s	assemblaggio, sigillatura, confezionamento, lucidatura	tecnologia SKIN, sensori di forza e di coppia
COMAU NJ 60, NJ 110	1 braccio, 6 assi	60 kg, 110 kg	2258 mm, 2980 mm	645 kg, 1070 kg	giunti: da 170°/s a 340°/s; da 110°/s a 230°/s	saldatura, assemblaggio, sigillatura, confezionamento, lucidatura, testing	tecnologia SKIN, sensori di forza e di coppia

Prendendo in considerazione il numero di assi si può notare che la maggior parte dei cobot analizzati hanno sei o sette assi e con uno o due bracci. Dalla Tabella 2.1 si deduce che i robot con due bracci sono soltanto ABB YuMi e Baxter, due modelli utilizzati in differenti applicazioni in quanto hanno capacità di carico rispettivamente 0.5 kg e 2.3 kg. Il primo grazie alla sua bassa capacità di carico è possibile trovarlo in applicazioni di assemblaggio di piccole parti come avviene nel settore dell'elettronica, mentre il secondo viene utilizzato per attività di confezionamento, prelievo e posizionamento.

Fra i sedici casi analizzati la capacità di carico varia fra i 0,5 kg ai 10 kg. Quelli che si distinguono sono il modello CR-35iA di Fanuc con 35 kg di capacità di carico, il più alto della sua gamma, il modello NJ60 e NJ110 di Comau con 60 kg e 110 kg. L'obiettivo di Comau è quello di far acquistare al

cliente un robot che possa svolgere sia operazioni tradizionali che collaborative come saldatura, sigillatura, lucidatura e assemblaggio puntando così ad una fascia di mercato con capacità di carico medio alta.

Analizzando la tabella si può ritenere che i fattori che determinano l'estensione del braccio sono la capacità di carico ed il peso del robot collaborativo. Infatti, prendendo in considerazione cobot di una stessa gamma è possibile notare che la massima estensione raggiungibile da un braccio meccanico aumenta all'aumentare della capacità di carico e del peso.

Il robot collaborativo presenta due tipologie di velocità, una legata al tool center point ed una riguardo i singoli giunti. La maggior parte dei robot ha una velocità massima del tool center point di 1 m/s ma solo ABB Yumi possiede una velocità massima di 1.5 m/s. Invece, la velocità massima dei singoli giunti varia da modello a modello.

Infine, dalla Tabella 2.1 è possibile notare che quasi tutti i robot collaborativi possiedono un sistema di visione incorporato nel braccio o nell'area di lavoro permettendo così di lavorare con l'operatore in maniera sicura. Riguardo i sensori invece, è possibile notare che solo Comau ha la tecnologia SKIN. Questa tecnologia è composta da sette strati in grado di rilevare la prossimità e il contatto con l'operatore.

CAPITOLO 3

Robotica collaborativa per la movimentazione:

AUTOMATIC GUIDED VEHICLE (AGV)

All'interno di uno stabilimento industriale è possibile trovare dei sistemi di movimentazione di materiale a guida autonoma con una nuova collaborazione tra AGV e personale umano. L'antenato degli attuali Automatic Guided Vehicle (AGV) risale addirittura agli anni Cinquanta del secolo scorso, quando la statunitense Barrett Electronics realizzò un carrello trasportatore che correva lungo un cavo nel pavimento al posto dei tradizionali binari. Un sensore posto nella parte inferiore del carrello seguiva il campo magnetico creato dal cavo e fino alla metà degli anni Settanta gli AGV utilizzarono questa tecnologia, seppure evoluta nel tempo applicando, per esempio, segnali elettrici con specifiche frequenze per consentire diversi percorsi. Poi, l'evoluzione dei microprocessori ha consentito il primo salto tecnologico, aumentando la flessibilità dei carrelli a guida autonoma: il loro utilizzo crebbe non solo nel trasporto di materiali all'interno dei magazzini, ma anche nelle attività di sollevamento e carico (Corbetta, 2017).

Il secondo salto evolutivo avvenne con la liberazione degli AGV dal cavo interrato, grazie a nuovi sistemi di guida con calamite nel pavimento, bande colorate, fino ad arrivare al laser. Il terzo passo è giunto con lo sviluppo delle tecnologie informatiche.

3.1 Gli AGV in un contesto moderno

Oggi, i vari sistemi di guida degli AGV convivono in funzione delle condizioni in cui i carrelli si muovono, il tipo di lavoro che devono svolgere e, ovviamente, le risorse disponibili per installarli. Le configurazioni più economiche, denominate Automated Guided Carts (AGCs), sono guidate ancora da fili, magneti o bande magnetiche o colorate. La prima soluzione è la

meno flessibile, perché per creare nuovi percorsi bisogna creare una canalina nel pavimento, ma nello stesso tempo è la più adatta per condizioni difficili, perché non subisce interferenze e opera anche in ambienti molto sporchi. Viceversa, l'ultima soluzione è, tra queste economiche, la più flessibile perché per creare nuovi percorsi basta dipingere una banda colorata sul pavimento (o incollare uno specifico nastro adesivo), ma richiede anche ambienti relativamente puliti e una maggiore manutenzione perché le bande vanno periodicamente ridipinte o sostituite. Le soluzioni di guida più all'avanguardia prevedono l'uso di laser montati sull'AGV, che lo liberano completamente da percorsi inseriti nel pavimento, permettendo così ai carrelli di muoversi liberamente nel magazzino seguendo le istruzioni del sistema di gestione. Questo sistema richiede una minima dotazione infrastrutturale nel magazzino, formata da catarifrangenti disposti sui percorsi dei carrelli, che sono colpiti dal raggio laser dell'AGV emesso periodicamente da una testa che ruota di 360°. Sulla base della direzione da cui proviene il riflesso e della rivelazione contemporanea da tre catarifrangenti, l'AGV determina la propria posizione e permette al programma di controllo di condurlo ogni volta a una destinazione diversa. L'emissione di raggi laser permette anche di rilevare ostacoli fissi o mobili, consentendo al carrello di aggirarli o di fermarsi. Un altro sistema di localizzazione è quello inerziale, che si basa su transponder annegati nel pavimento e giroscopi montati sul carrello: i primi servono per verificare la posizione, i secondi per rilevare cambi di direzione della macchina. Questo sistema è indicato in ambienti difficili, come corridoi stretti o temperature elevate. Se il carrello lavora all'esterno si può usare la navigazione satellitare tramite Gps. L'evoluzione più recente è la guida visuale, che usa telecamere installate sull'AGV e che si basa sulla tecnologia Evidence Grid inizialmente sviluppata da Hans Moravec nell'università Carnegie Mellon. Questo sistema richiede un'elevata potenza di calcolo dei microprocessori, che devono leggere le immagini create dalle telecamere stereo a 360° intorno al carrello, costruendo una mappa tridimensionale dello spazio. In questo modo, l'AGV ricostruisce in modo dinamico l'ambiente che lo circonda, riconoscendone i

vari elementi e modificando in ogni istante il suo percorso senza la necessità di infrastrutture o rilevazioni laser. L'intera evoluzione degli AGV ha come presupposto lo sviluppo del software del singolo carrello e del sistema di gestione del magazzino, che comunicano costantemente tra loro. I primi carrelli a filo avevano bisogno d'istruzione molto semplici, mentre quelli a guida visuale hanno programmi molto complessi che elaborano velocemente un gran numero d'informazioni e devono prendere anche decisioni in modo completamente automatico. Nello stesso tempo, il software gestionale deve governare più carrelli contemporaneamente, stabilendone i percorsi e la missione, con la possibilità di cambiarli rapidamente secondo le richieste operative. Il prossimo passo, già avviato, è la connessione con altri elementi del magazzino, macchine e operatori umani. Entriamo così nel mondo dell'Industria 4.0, dove i vari elementi (come ad esempio pallettizzatori o fasciatrici) dialogano tra loro, riprogrammandosi secondo le esigenze. Un aspetto particolare della nuova tendenza riguarda il rapporto tra AGV e personale umano. Finora, l'automazione del magazzino si è concentrata sull'aspetto (relativamente) più semplice da gestire, ossia lo spostamento di una unità di carico, come pallet grandi contenitori, mentre resta il nodo della presa di piccoli elementi da consolidare in spedizioni. In questo campo, l'uomo resta ancora indispensabile, ma lo sviluppo del commercio elettronico sta ponendo l'urgenza di automatizzare anche quest'attività. La soluzione che sta emergendo è la collaborazione tra AGV ed operatore umano: quest'ultimo compie ancora la presa dei colli dallo scaffale, ma un carrello automatico lo segue in modo autonomo, raccoglie il materiale e quando è pieno si dirige da solo alla fase successiva, mentre un altro carrello vuoto lo sostituisce per i prossimi ritiri. Una soluzione alternativa prevede dei piccoli AGV che portano moduli di scaffali con i prodotti da consolidare presso una postazione con personale che compone le spedizioni. Ma questa appare come una fase intermedia per la prossima rivoluzione, quella dei robot che potranno svolgere in modo completamente autonomo la presa di qualsiasi elemento dagli scaffali. Conviene investire per un sistema di carrelli a guida autonoma

perché l'automazione permette una riduzione del costo del personale. Inoltre, i sistemi automatici dell'ultima generazione aumentano la sicurezza rispetto, per esempio, a un carrello guidato dall'uomo, che può distrarsi o subire un calo dell'attenzione causato dalla stanchezza. Operando virtualmente 24 su 24 e tutti i giorni dell'anno gli AGV aumentano la produttività dell'impianto, mantenendo prestazioni costanti nel tempo e un'elevata flessibilità in termini di velocità operativa e mole di lavoro, soprattutto quando gli AGV sono integrati nella filiera logistica tramite rete aziendale o Internet delle Cose. Altri due elementi favorevoli sono la modularità dell'investimento, che permette di aggiungere elementi mano a mano che aumentano i volumi movimentati dal magazzino, e la possibilità di operare in ambienti sfavorevoli, come quelli a temperatura controllata o contenenti merci pericolose. Ma ci sono anche altri fattori da considerare per valutare la decisione. Il primo è che un sistema automatico richiede un'elevata immobilizzazione di capitale nell'implementazione del sistema, non solo per l'acquisto dei carrelli e dell'infrastruttura hardware e software per governarli ma anche nella formazione del personale che li gestisce. A tale proposito, si ricorda che una via per ridurre l'investimento iniziale è automatizzare la flotta di carrelli a guida umana con specifici kit che li trasformano in AGV. Poi bisogna calcolare bene anche i costi di manutenzione ordinaria e straordinaria e dell'aggiornamento del software. Dal punto di vista operativo, bisogna considerare che attuali generazioni di AGV svolgono bene operazioni ripetitive, mentre per magazzini che richiedono attività diverse che cambiano continuamente hanno ancora bisogno dell'operatore umano. Almeno fino a quando non sarà rimpiazzato da robot abbastanza intelligenti (Corbetta, 2017). Nei paragrafi successivi si andranno ad analizzare i vari AGV con le proprie caratteristiche tecniche.

3.2 ALUMOTION

Alumotion opera nel settore dell'automazione industriale da oltre 20 anni. Oggi l'azienda ha intrapreso un percorso coraggioso, innovativo e al passo con i tempi dettati dalle tecnologie e dai mutamenti indotti da queste nei processi produttivi. Mobile Industrial Robots (MiR) 100 (Figura 3.1) è l'AGV/Robot-Mobile user-friendly distribuito da Alumotion sul mercato italiano. Pensato per automatizzare i processi di trasporto e le attività logistiche in senso lato, sia industriali che in ambito civile, per il trasporto, ad esempio di farmaci, cibo, libri, biancheria, il robot incrementa la produttività delle operazioni logistiche e riduce i costi dell'intero processo di movimentazione dei prodotti, o dei semilavorati, all'interno dei diversi layout. Il robot è in grado di mappare automaticamente lo spazio e, quindi, non necessita di linee o markes per l'identificazione dei percorsi.



Figura 3.1: MiR 100 (Alumotion, 2017)

Il software di programmazione è intuitivo alla portata di tutti, al punto che è sufficiente uno smart device, con installata la relativa App per programmare la macchina, i percorsi e i task che dovrà compiere.

Il funzionamento collaborativo di MiR è garantito dalla dotazione standard del robot. La macchina “indossa” laser scanner, sensori ad ultrasuoni e telecamere 3D in grado di rilevare ed aggirare autonomamente ostacoli e persone che il robot incontra sul proprio percorso, il tutto in piena sicurezza.

MiR100 è in grado di trasportare carichi fino a 100 kg (Figura 3.2) e trainare fino a 300 kg grazie ad uno speciale gancio robotizzato automatico, regolato tramite sistema di visione per il riconoscimento. Altre opzioni rendono l'utilizzo di MiR ancor più collaborativo e interessante: tramite l'opzione di dialogo con operatore, il personale di una stazione di lavoro può richiedere a MiR di segnalare il prelievo del materiale dal magazzino centrale e viceversa. Se, invece, si prevede di montare su MiR una scaffalatura o attrezzatura che possa colpire tavoli od oggetti ad un'altezza superiore quella del robot, la telecamera superiore opzionale permette di trasmettere queste informazioni e, così, di evitare gli ostacoli. Inoltre, l'AGV è in grado di riconoscere quando le proprie batterie sono in esaurimento e automaticamente andrà a “fare rifornimento” presso la stazione di ricarica. Per la gestione di più di un dispositivo sulla stessa tratta, il controllo flotte permette di evitare incroci e di ottimizzare i percorsi in modo da bilanciare il carico di lavoro dei mezzi.

Una base di output a Relais remotata, connessa a MiR tramite Bluetooth, consente al robot anche di richiedere l'apertura di porte o la prenotazione di ascensori. Tutte queste caratteristiche rendono MiR100 così produttiva da garantire un rapido ritorno di investimento, spesso inferiore a 1 anno (Logisticnews, 2017).

Designated use	
Collaborative mobile robot	for smaller transport tasks within the industry, logistics and healthcare
Dimensions	
Length	890 mm
Width	580 mm
Height	352 mm
Height above floor	50 mm
Weight (without load)	62.5 kg
Load surface	600 mm x 800 mm
Color	
RAL	9010
Payload	
Robot payload	100 kg (maximum 5% incline)
Speed and performance	
Running time	10 hours or 20 km
Maximum speed	forwards: 1.5 m/s (5.4 km/h) / backwards: 0.3 m/s (1 km/h)
Turning radius	0.55 m (around center of robot)
Positioning accuracy	+/-5 cm of position, +/-1 cm to docking marker
Traversable gap and sill tolerance	2 cm
Power	
Battery	Li-NMC, 24 V, 40 Ah; charging time: up to 3 hours (0-80%: 2 hours)
Internal charger	Input: 100-230 V ac, 50-60 Hz / Output: 24 V, max 15 A

Figura 3.2: Caratteristiche tecniche di MiR 100 prima parte (ALUMOTION, 2017)

Environment	
Ambient temperature range	+5°C to 50°C (humidity 10-95% non-condensing)
IP class	IP 20
Communication	
WiFi	Dual-band wireless AC/G/N/B
Bluetooth	4.0 LE, range: 10-20 m
I/Os	USB and Ethernet
Safety sensors	
SICK laser scanners S300 (front and back)	360° visual protection
3D camera Intel RealSense™	detection of objects ahead 5-50 cm above floor
Ultrasonic scanners (4 pcs.)	detection of transparent objects ahead, e.g. glass doors
Top module	
Max. height from floor to top	1800 mm
Center of gravity	Lower than 900 mm above the floor

Figura 3.2: Caratteristiche tecniche di MiR 100 seconda parte (ALUMOTION, 2017)

3.3 BITO ITALIA

Produttore e fornitore di soluzioni per il magazzino a tutto tondo, nel 1959 BITO ha iniziato la sua esperienza nella produzione di sistemi di magazzino, occupando in Germania una superficie di 140.000 mq. Con 14 filiali di proprietà, distribuite in Europa, Emirati Arabi e USA, BITO è in grado di soddisfare le esigenze dei propri clienti anche oltre i confini europei. Nel 2015 ha realizzato un turnover di 220 milioni di euro, impiegando al suo interno 900 persone. Nei propri stabilimenti, l'azienda progetta e realizza impianti di magazzino: scaffalature a gancio, sistemi multipiano, impianti porta pallet fissi o su basi mobili, impianti dinamici per cartoni, cassette, pallet e cassoni in ferro ed impianti drive-in asserviti da navette, oltre ad un'ampia gamma di contenitori in polipropilene che prevede più di 1000 diverse soluzioni standard. BITO si affianca al cliente per individuare la soluzione di stoccaggio e picking maggiormente idonea, progettando al proprio interno le soluzioni e segue fino all'installazione e al collaudo tutti i propri sistemi (Logisticnews, 2017). Il nuovo sistema di trasporto a guida ottica LEO Locative di BITO-Lagertechnik è stato sviluppato per un utilizzo in ambito industriale a tutto tondo, indipendentemente dal settore. Si tratta di un sistema molto utile e di facile utilizzo, se lo si paragona ad altri sistemi di trasporto driverless. LEO Locative non richiede meccanismi sterzanti ed è da subito pronto all'uso, senza la necessità di costose programmazioni personalizzate o altri settaggi. Il vantaggio principale del veicolo LEO è la possibilità di seguire una traccia ottica che per gli permette di muoversi seguendo una linea marcata sulla pavimentazione. Essa può essere velocemente ed agevolmente rimossa e riposizionata in un'altra area qualora fosse necessario. LEO Locative (Figura 3.3) è un veicolo driverless, a batteria, studiato e realizzato per il trasporto di cartoni e contenitori in plastica fino a 20 Kg (Figura 3.4), in ottemperanza alle ultime normative europee relative alla movimentazione manuale dei carichi.



Figura 3.3: LEO Locative (BITO, 2017)

Il veicolo è adatto a contenitori di base 600×400 mm e si presta molto bene anche al trasporto di più di un'unità di carico, come ad esempio due contenitori 400×300 mm. Il veicolo si muove su una traiettoria lungo la quale trova delle stazioni di prelievo e di deposito del carico. LEO locative è alimentato due motori elettrici che consentono una velocità massima di 0.8 metri al secondo e, grazie ad un accumulatore, può lavorare fino ad 8 ore consecutive no stop (BITO, 2017).

LEO LOCATIVE	
Dimensione (L × P × H)	500 × 830 × 921 mm
Peso incluso il caricatore	42 kg
Velocità massima	0,7 m/s
Velocità minima	0,4 m/s
Tensione	24 V/DC
Potenza	40 V/DC
Indice protezione	21IP
Intensità suono	< 60 db
CARICATORE LEO	
Dimensione (L × P × H)	120 × 190 × 70 mm
Voltaggio	230 V / AC 50 Hz
Carica elettrica	4 A
Classe di protezione	III
BATTERIA LEO	
Dimensione (L × P × H)	370 × 80 × 225 mm
Peso	14 kg
Capacità	20 Ah
Autonomia di servizio, con batteria carica	8 - 12 h
Tempo di carica	6 - 8 h
CARICHI	
Dimensione massima (L × P × H)	600 × 400 × 400 mm
Dimensione minima (L × P × H)	250 × 150 × 50 mm
portata massima di carico	20 kg
adatto al carico di cassette in plastica	si
adatto al carico di cartoni	cartoni di buona qualità

Figura 3.4: Caratteristiche tecniche LEO Locative, prima parte (BITO, 2017)

PIANIFICAZIONE TRACCIATO	
Larghezza minima tracciato	550 mm
Distanza minima tra le tracce	1000 - 1100 mm
Raggio di curvatura	700 mm
Raggio esterno ed interno	1150 / 400 mm
NUMERI	
Distanza minima tra 2 mezzi sulla stessa traccia	: 5 metri
Massimizzazione risultato	350 carichi/h
STAZIONI	
Dimensioni della singola stazione (L × P × H)	710 × 740 × 850 mm
Dimensioni delle stazioni gemelle (L × P × H)	710 × 1540 × 850 mm
Peso della singola stazione	60 kg
Peso delle stazioni gemelle	120 kg
Tensione	24 V
Potenza assorbita	5 W
ACCESSORI STAZIONI	
Postazione prelievo (L × P × H)	750 × 400 × 620 mm bordo inferiore
Linea buffer di scarico, lunghezza 1200 mm (L × P × H)	650 × 1200 × 920 mm
Linea buffer di prelievo, lunghezza 1200 mm (L × P × H)	650 × 1200 × 780 mm
Linea buffer di scarico, lunghezza 2400 mm (L × P × H)	650 × 2400 × 1000 mm
Linea buffer di prelievo, lunghezza 2400 mm (L × P × H)	650 × 2400 × 710 mm
REQUISITI OPERATIVI	
Planarità pavimento	+/- 2 %
Colore pavimentazione	nessun requisito
Temperatura	da +5°C a +45°C
Massima umidità	senza condensa

Figura 3.4: Caratteristiche tecniche LEO Locative, seconda parte (BITO, 2017)

3.4 INDEVA

Scaglia Indeva è stata fondata nel 2004 dalla scorporazione della Divisione “Material Handling” di Scaglia, nata nel 1839 per la produzione di rocchetti in legno e accessori per le macchine utensili. Il Gruppo conta 800 dipendenti, 12 sedi nel mondo, tra cui 2 in Italia, ed ha un fatturato totale di 126 milioni di euro. Esporta il 69% dei prodotti che finiscono per lo più nell’industria metalmeccanica pesante (28%) e nell’automotive (21%). Oggi Scaglia INDEVA, spicca a livello mondiale per la progettazione e produzione di “Intelligent Devices for Handling”, meglio noti come “INDEVA”, una nuova generazione di manipolatori industriali. L’azienda offre soluzioni all’avanguardia per la movimentazione interna di materiali e l’intralogistica con una gamma di prodotti che include appunto Manipolatori Industriali, Veicoli a Guida Automatica e sistemi Lean. Scaglia Indeva S.p.A è situata a Val Brembilla, dove si trova la sua principale unità produttiva, che si sviluppa su un’area complessiva di 15.000 mq. Sempre più vicina tecnologicamente alle richieste del mercato ed al concetto di Industry 4.0, INDEVA è riuscita a creare un’interconnessione tra i suoi AGV ed i robot presenti sulle linee di assemblaggio dei componenti “leva più fuso”. L’AGV, in questo caso modello AGV Tunnel (Figura 3.5) con capacità di traino di fino a 750 kg (Figura 3.7), si sposta davanti alla stazione automatica di assemblaggio dove si trova il robot e, mediante la rete wi-fi dell’azienda, inizia la comunicazione con il robot. Utilizzando un’interfaccia creata da INDEVA, il robot, in modo del tutto automatico, assegna all’AGV una delle 3 possibili missioni che può eseguire. A questo punto, l’AGV entra nell’isola d’assemblaggio e rilascia automaticamente il carrello vuoto, il robot riempie il carrello e, grazie al wi-fi, comunica all’AGV che il carrello è pieno. L’AGV prende il carrello e lo trasporta nella posizione della linea d’assemblaggio definita dal robot. Una volta raggiunta la posizione 1,2 o 3, l’AGV scambia automaticamente il carrello pieno con uno vuoto, ripartendo nuovamente per l’esecuzione di un nuovo ciclo. INDEVA non si è però limitata solo ad una linea di produzione: grazie all’interconnessione tra le interfacce sviluppate da INDEVA ed il

network wi-fi dell'azienda, è stato possibile sviluppare una seconda soluzione nel reparto di assemblaggio del cambio. Un operatore carica manualmente sull'AGV presente in magazzino 6 pallet vuoti e verifica che gli otturatori siano chiusi. A questo punto l'AGV parte, si sposta sulla linea d'assemblaggio e una volta allineatosi alla postazione di scambio pallet, inizia uno scambio di dati con la macchina d'assemblaggio per le opportune verifiche. L'AGV consegna quindi 6 pallet pieni e ne preleva 6 vuoti, uno scambio che avviene attraverso un sistema di rulliere motorizzate progettato da INDEVA, chiamato "giostra". La "giostra" permette di mantenere in posizione l'AGV durante lo scambio, garantendo un consistente risparmio di tempo e verificando il corretto scambio dei 6 pallet vuoti (Logisticnews, 2017).



Figura 3.5: INDEVA AGV TUNNEL (INDEVA, 2017)

INDEVA TUNNEL AGV è usato per trasportare carrelli più leggeri, corti e larghi lungo la linea di assemblaggio. Questo AGV si posiziona sotto un carrello, lo aggancia in modo automatico, e lo trascina fino a destinazione dove si ferma automaticamente (Figura 3.5). Qui l'AGV sgancia il carrello e si sposta in avanti per lasciare il carrello pieno e introdursi sotto un carrello vuoto da riportare in magazzino. Questo modello di AGV è principalmente usato per trasportare accessori dal magazzino alla linea di assemblaggio

nell'industria automobilistica. INDEVA non ha semplicemente fornito un prodotto ma una consulenza ed una soluzione completa chiavi in mano all'azienda, integrandosi perfettamente con i sistemi già implementati all'interno delle linee produttive.

Indeva Tugger (Figura 3.6) invece ha una capacità di traino che va da 750 kg a 1500 kg (Figura 3.7) ed è tipicamente usato per trainare una serie di carrelli lunghi e pesanti che vengono agganciati all'AGV da un operatore. Il trenino si avvia fermandosi automaticamente nei punti prestabiliti lungo la linea di assemblaggio (INDEVA, 2017).



Figura 3.6: AGV Indeva Tugger (INDEVA, 2017)

	Tugger/Tunnel 750 Kg	Tugger 1500 kg
ALIMENTAZIONE	24 Volts DC	48 Volts DC
MOTORE	Motore DC Brushless (con freno) potenza 100W x 2	Motore DC Brushless (con freno) potenza 100W x 2
CAPACITA' TRAINO	Max capacità di traino: 750 kg	Max capacità di traino: 1500 kg
FORZA TRAINO	350 N - 36 kgf - (massima alla massima velocità)	700 N - 72 kgf (massima alla massima velocità)
MASSIMA VELOCITA'	50 m/min (selezionabile da 5 a 50 m/min)	50 m/min (selezionabile da 5 a 50 m/min)
SISTEMA DI GUIDA	Magnetica	Magnetica
DIREZIONE	In avanti	In avanti
SISTEMA DI STERZO	Velocità differenziata tra le ruote motrici	Velocità differenziata tra le ruote motrici
RAGGIO MINIMO DI CURVATURA	600 mm	1000 mm
MASSIMA INCLINAZIONE PAVIMENTO	1%	1%
PLANARITA' PAVIMENTO	± 5 mm ogni 2 metri	± 5 mm ogni 2 metri
PRECISIONE STOP	± 30 mm	± 30 mm
BATTERIE	Set batteria per 24V (2x12V) Gel 40Ah o 70 Ah (caricatore batteria incluso)	Set batteria per 48V (4x12V) Gel 135Ah (caricatore batteria incluso)
AUTONOMIA BATTERIA	Circa 6 ore per 40Ah e 10 ore per 70Ah	Circa 16 ore
PROGRAMMI	56 programmi - 250 linee per programma	56 programmi - 250 linee per programma
DIMENSIONI LxLxH Tugger	965 mm x 544 mm x H 1.500 mm	1400 mm x 920 mm x H 1150 mm
DIMENSIONI xLxH Tunnel	1.350 mm x 570 mm x H 450 mm	
SENSORE OSTACOLI	SICK Laser Scanner 8 zone	SICK Laser Scanner 8 zone
SICUREZZA	Conformità a tutti gli standard pertinenti (EN1525, EN13839)	

Figura 3.7 : Caratteristiche tecniche AGV (INDEVA, 2017)

3.5 Linde Material Handling Italia

Linde Material Handling si posiziona tra i maggiori produttori mondiali di carrelli elevatori frontali e da magazzino. Grazie al proprio know-how, maturato in decenni di sviluppi ed esperienze, Linde fornisce soluzioni tecniche e logistiche con un elevato livello di sicurezza, di qualità e di prestazioni. Per l'azienda, ecologia ed economia vanno nella stessa direzione: minori consumi e emissioni ridotte per migliorare prestazioni e proteggere l'ambiente e la salute degli operatori. Linde MH Italia dispone di una capillare struttura commerciale e di assistenza, composta da 18 concessionarie e da quattro filiali dirette a Milano, a Bologna, a Roma e nel Triveneto. Ogni giorno, oltre 800 collaboratori e competenti sono al servizio dei suoi clienti per trovare la giusta soluzione per le differenti applicazioni. Linde MH Italia offre vendita, assistenza, noleggio a breve termine, leasing a lungo termine, differenti modelli finanziari, gestione e manutenzione globale delle flotte, un'ampia gamma di carrelli ricondizionati "Qualità Certificata" e corsi di formazione per carrellisti. Linde è attiva nei processi di automazione dal 2014 quando, grazie alla collaborazione con l'azienda francese Balyo specializzata in robotica, nasce la linea Linde Robotics. In pochi anni, Linde ha ampliato la propria gamma con sistemi automatizzati offrendo al mercato soluzioni a più livelli con lo scopo di standardizzare le movimentazioni interne delle merci. L'implementazione di soluzioni robotizzate per la gestione del magazzino è particolarmente conveniente dove i processi di movimentazione del carico sono ripetitivi, comportano lunghe distanze e sono distribuite in modo omogeneo su un orario giornaliero prolungato. Un ulteriore risparmio potenziale si ottiene dall'ottimizzazione delle risorse operative che possono essere impiegate in ruoli dove il loro contributo può rappresentare un valore aggiunto alla produzione. La qualità fondamentale della linea Linde Robotics



Figura 3.8 : AGV L-MATIC (LINDE, 2017)

(Figura 3.8) è la semplicità perché è basata sulla produzione di carrelli Linde che vengono integrati con la tecnologia Balyo, sistema di geonavigazione a controllo laser, e messi in condizione di guidare automaticamente. Questa tipologia di veicoli non richiede nessuna infrastruttura di navigazione come riflettori, sistemi a induzione o magneti ma, al contrario, usa una tecnologia basata su un laser assistito incorporato, riuscendo così ad integrarsi all'interno di una struttura già esistente. Inoltre, la presenza di due laser anteriori ed uno posteriore di sicurezza permette di rilevare eventuali ostacoli alla libera movimentazione e ad evitare possibili incidenti. Il carrello dopo aver tracciato il magazzino converte i dati in una mappa bidimensionale in cui definire l'ordine dei tragitti e le missioni assegnate ai singoli veicoli. In questo modo,

grazie al supporto di un laser, di una unità di controllo e di una mappa digitalizzata, il veicolo è in grado di localizzare la propria posizione in tempo reale. Grazie a questa soluzione è possibile implementare facilmente ed in qualsiasi momento modifiche alla struttura del magazzino e variazioni dovute alle esigenze del momento (Logisticnews, 2017).

3.6 OMRON

Fondata a Kyoto il 10 maggio 1993 da Kazuma Tateisi, Omron è oggi uno dei maggiori produttori di componenti di controllo, particolarmente attivo nello sviluppo e applicazione di nuove tecnologie e sistemi. In Italia Omron è una realtà di rilievo nel comparto dei componenti di rilevamento e controllo per l'automazione industriale ed è inoltre presente con successo nel settore dei componenti per l'industria elettronica e nelle apparecchiature medicali. Omron Electronics Spa commercializza prodotti e sistemi per l'automazione industriale; fanno parte del suo carnet controllori programmabili, interfacce uomo-macchina, sensori fotoelettrici e di prossimità, sistemi di visione, robot, prodotti per la sicurezza, inverter, servo-azionamenti, relè industriali, contattori, termoregolatori, alimentatori switching. Ideale per il trasporto dei prodotti all'interno di magazzini, centri di distribuzione e impianti di produzione, i robot mobili LD (Figura 3.9) hanno una capacità di carico fino a 130 kg, a seconda del modello.

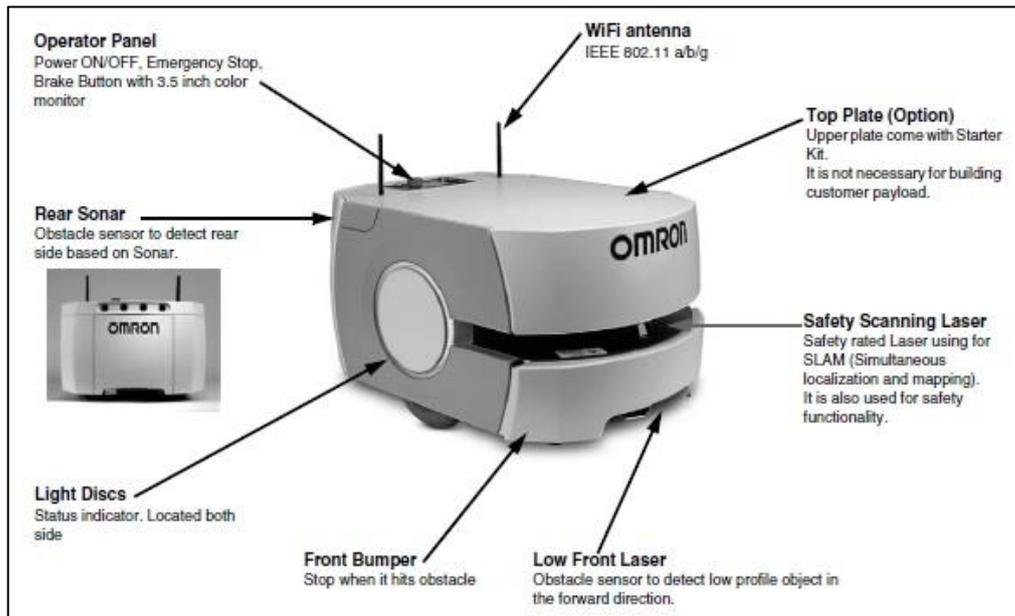


Figura 3.9 : Robot mobile LD Series (OMRON, 2017)

Rispetto agli AGV tradizionali, i robot mobili Omron possono spostarsi autonomamente seguendo le caratteristiche naturali dell'impianto. Non richiedono modifiche strutturali, costose e dispendiose in termini di tempo, pertanto non sono più necessari magneti a pavimento, nastri o segnalatori

luminosi laser associati in genere agli AGV tradizionali. È possibile creare un layout flessibile in fabbrica in quanto i punti di consegna possono essere facilmente modificati per accogliere i robot mobili, che sono inoltre integrabili nei sistemi di automazione tradizionali, come ad esempio i trasportatori, e garantiscono la tracciabilità delle merci. I robot mobili Omron sono dotati di un affidabile sistema di navigazione automatico anche in luoghi dove si muovono persone, pallet, carrelli, carrelli elevatori e ripiani mobili. Sono provvisti di intelligenza integrata per evitare gli ostacoli e possono scegliere il percorso migliore per completare un'attività. La capacità di muoversi in modo intelligente li rende idonei a lavorare accanto alle persone come macchine collaborative. Una flotta può comprendere fino a 100 veicoli e può essere gestita a livello centrale da un responsabile che può interagire con software di gestione di magazzino o sistemi di fabbrica quali Manufacturing Execution System (MES) o Web Map Service (WMS).

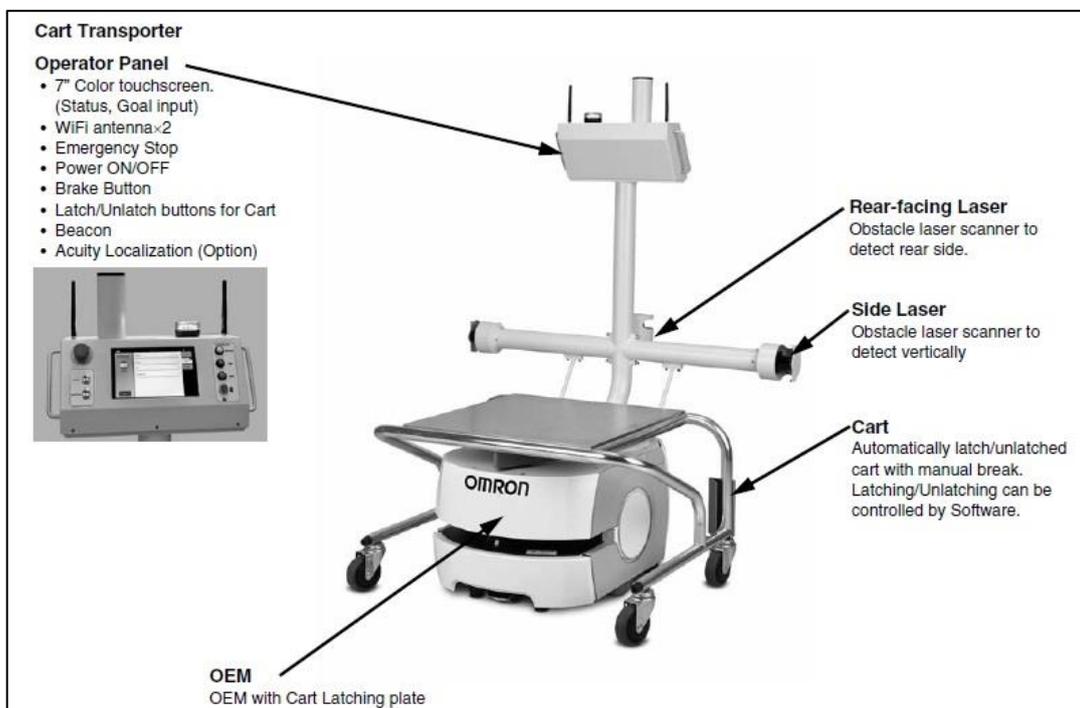


Figura 3.10: LD Cart Transporter (OMRON, 2017)

E' compresa nella release l'LD Cart Transporter (Figura 3.10), una soluzione automatizzata per la movimentazione dei materiali. LD Cart Transporter comprende un dispositivo di innesto automatico ed è in grado di regolare autonomamente il proprio percorso di marcia per agganciare in automatico il

carrello, il che dà luogo alla soluzione ideale per il rifornimento delle linee di assemblaggio o per l'evasione degli ordini di e-commerce in un centro di distribuzione (Logisticnews, 2017).

3.7 SWISSLOG

Swisslog è un fornitore globale di soluzioni logistiche integrate per magazzini e centri di distribuzione automatizzati, capace di fornire soluzioni chiavi in mano innovative e di affiancare i clienti in tutte le fasi dei progetti, dalla pianificazione iniziale fino al supporto funzionale delle operazioni quotidiane dei magazzini e centri di distribuzione. Le soluzioni di Swisslog si basano su un ampio know-how acquisito grazie agli innumerevoli impianti implementati in oltre 50 paesi nel mondo. Ciò ha permesso a Swisslog di specializzarsi in molti settori, come il Retail, realizzando prodotti ad hoc per lo stoccaggio e la movimentazione della merce. Inoltre, Swisslog ha posto grande attenzione ai nuovi settori emergenti, primo fra tutti l'E-commerce, sviluppando un portfolio di soluzioni dedicate, in grado di rispondere alle nuove sfide per la logistica.

3.7.1 Il sistema CarryPick

Swisslog, da sempre specializzata in sistemi AGV tradizionali, ha sviluppato un'innovativa soluzione di veicoli a guida automatica studiati appositamente per le attività di stoccaggio e picking merce all'uomo: il sistema CarryPick (Figura 3.11).

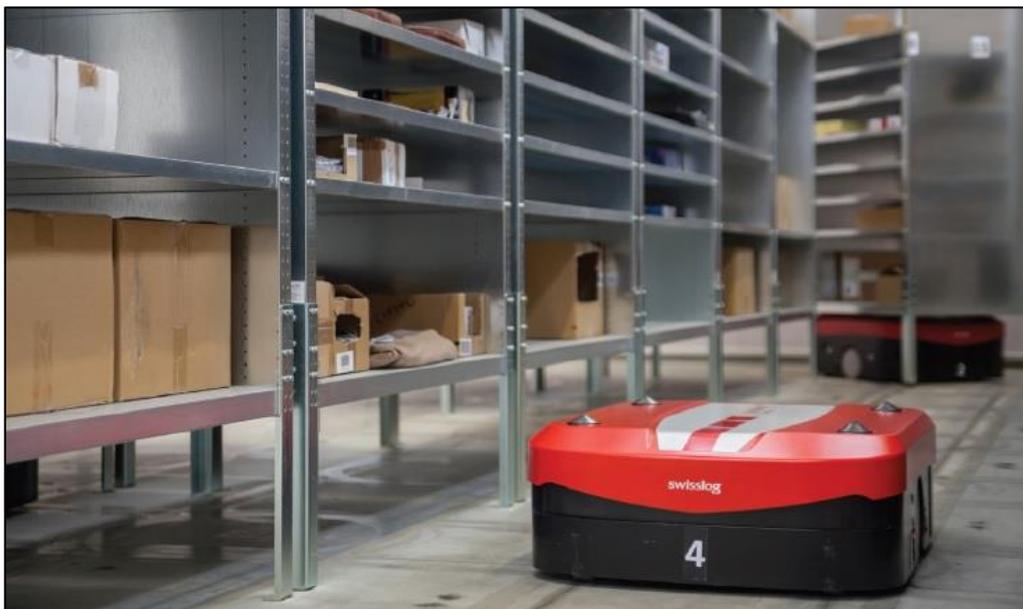


Figura 3.11: CarryPick (SWISSLOG, 2017)

La tecnologia prevede la movimentazione automatizzata di scaffali configurabili, i quali permettono l'alloggiamento simultaneo di articoli caratterizzati da una notevole varietà di dimensioni, pesi e tipologia (cartoni, capi appesi, capi stesi, minuterie, prodotti finiti, ricambistica, materiale per produzione, etc..) all'interno di un unico sistema automatico. Una flotta di veicoli automatici, gestiti dal sistema di supervisione e controllo del traffico, trasporta gli scaffali alle baie operatore, dove possono essere prelevati gli articoli. Grazie al software SynQ di Swisslog che gestisce la dimensione dell'imballaggio e il numero/posizione degli articoli da prelevare, il sistema permette di comporre facilmente un ordine, garantendo una maggior precisione e un'ottimizzazione dei tempi di evasione. Nello specifico, SynQ controlla l'elaborazione degli ordini, lo stoccaggio della merce e la gestione dei resi e, contemporaneamente, esegue un inventario fisico e costante della merce al fine di verificare e salvaguardare la disponibilità per la consegna. Contemporaneamente, SynQ posiziona gli articoli ad alta rotazione nelle vicinanze delle stazioni di lavoro, collocando invece gli articoli a bassa rotazione nella parte posteriore del magazzino. Tale soluzione trova applicazione specialmente in ambito distributivo e e-commerce, ovviando in termini di flessibilità ai limiti degli usuali e più rigidi sistemi di automazione quali miniload. Infatti, il sistema è altamente flessibile e modulabile: si possono aggiungere scaffali se è necessario incrementare lo stock e si possono aggiungere carrelli se è necessario incrementare i flussi, permettendo una crescita lineare. Inoltre CarryPick è un sistema che permette una facile integrazione in strutture preesistenti e una rapida eventuale riconfigurazione per adattarsi al meglio a cambiamenti strutturali e commerciali (Logisticnews, 2017).

Mobile racks – dimensions (L x W x H)	1 300 mm x 900 mm x 2 500 mm
Mobile racks – types	Cartons, hanging goods, returns
'Carry' robots – load	max. 600 kg
'Carry' robots – power supply	inductive, charging mats
Room height – building	min. 3 m

Figura 3.12: Caratteristiche tecniche AGV Swisslog (SWISSLOG, 2017)

3.7.2 Il sistema ACPaQ

Oggi i retailers hanno diverse difficoltà nel soddisfare le richieste del cliente, come ad esempio garantire un'esperienza confortevole nello store abbinato ad un ampio range di prodotti disponibili. Garantire la presenza di un determinato prodotto in uno specifico store è uno dei problemi che i retailer devono affrontare. La crescita dell'e-commerce permette al consumatore una vasta scelta del prodotto. Per far fronte a queste esigenze si devono ridurre i costi e le giornate lavoro dei dipendenti. Swisslog ha sviluppato una soluzione innovativa e automatizzata che soddisfa le attività logistiche giornaliere del retailer in modo efficiente ed economico. ACPaQ (Figura 3.13) è una soluzione applicabile per attività di prelievo completamente automatizzato di pallet composti da scatole miste in base alle necessità del cliente.

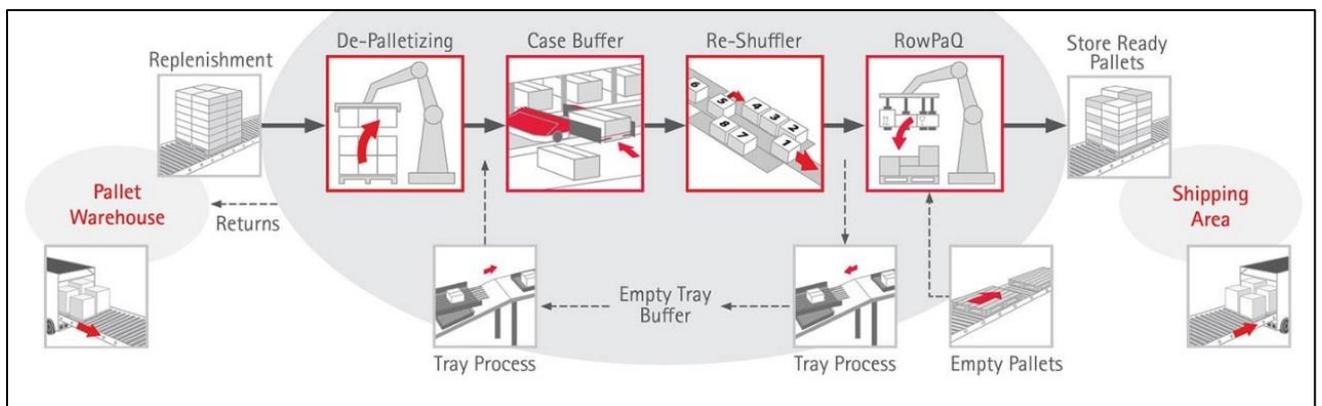


Figura 3.13: Il sistema ACPaQ (Swisslog, 2017)

Il sistema ACPaQ e quindi il processo automatizzato del prelievo delle singole scatole è così strutturato:

1. I prodotti arrivano in pallet omogenei.
2. I pallet vengono automaticamente immagazzinati o depallettizzati strato dopo strato da un robot.
3. Il robot depallettizzatore posiziona i vari strati di pallet sul nastro trasportatore.
4. Facoltativo: le singole scatole sono caricate automaticamente sui vassoi.
5. Le scatole sono conservate in un magazzino multilivello servito da CycloneCarrier. CycloneCarrier è una navetta ad alta velocità che

viaggia tra le varie corsie e i vari livelli in modo autonomo rilasciando le scatole nella sequenza corretta una volta che l'ordine è stato assegnato.

6. Dopo il trasferimento dell'ordine le scatole sono rilasciate dal magazzino e messe nella giusta sequenza da un sequenziatore.
7. Facoltativo: le singole scatole sono scaricate dal vassoio.
8. Il nastro trasportatore tra il vassoio di scarico e il pallettizzatore forma una fila di scatole secondo lo schema di pallettizzazione rilasciato quando il nastro trasportatore per la fase di prelievo è pieno.
9. RowPaQ, il robot pallettizzatore di KUKA, pallettizza fino a 4 scatole in un singolo movimento secondo il principio fila dopo fila.
10. I pallet ordinati sono caricati in maniera sicura grazie ad una operazione di confezionamento .
11. Il pallet è etichettato e trasportato nell'area spedizioni.

In sostanza, il software di pallettizzazione consente di personalizzare l'ordine di pallettizzazione per aumentare l'efficienza durante il rifornimento in negozio. ACPaQ può essere utilizzato in zone con temperatura ambiente e magazzini refrigerati, e può gestire quasi tutti i tipi di cartoni, confezioni termoretraibili o imballate con prodotti in fiocco e tipi di pallet utilizzati nei settori della vendita al dettaglio e delle bevande .

La pallettizzazione del robot aumenta la produttività e migliora la qualità di raccolta del pallet degli ordini.

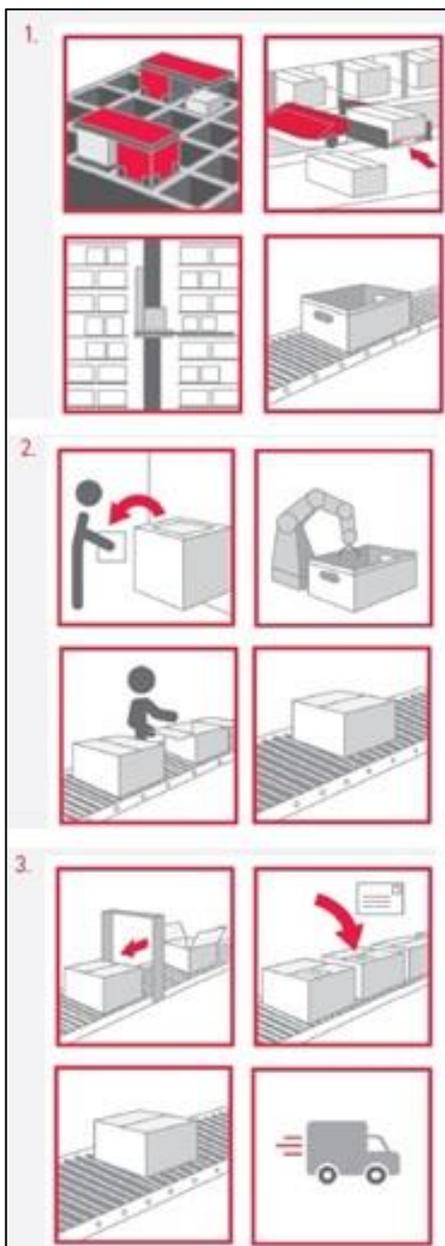
Inoltre il robot pallettizzatore di KUKA presenta pinze esclusive con quattro forche per una gestione delicata e simultanea di più prodotti, pallettizzando con prestazioni elevate fino a 1.000 unità all'ora .

La soluzione basata su vassoio consente di gestire un'ampia gamma di prodotti e offre flessibilità per i futuri cambiamenti nella confezione del prodotto (Swisslog, 2017).

3.7.3 Il sistema AutoPiQ

Swisslog utilizza il robot KUKA LBR iiwa per afferrare i prodotti in maniera delicata e sicura. LBR iiwa è il primo robot collaborativo adatto per applicazioni intralogistiche, permettendo di lavorare al fianco dell'uomo. Questo robot, montato su una piattaforma mobile, da una nuova flessibilità in quanto può essere usato in diverse stazioni di lavoro.

Un processo automatizzato di prelievo di un prodotto (Figura 3.14) avviene nel seguente modo:



1. I prodotti sono trasportati da sistemi esistenti automatizzati di immagazzinamento come AutoStore, CycloneCarrier o gru con piccole capacità di carico verso una stazione di prelievo.

2. Lo step successivo è fatto dal prelievo dell'ordine condiviso. Dipende dallo scenario dell'applicazione, il robot può prelevare e l'operatore umano può finalizzare l'ordine. Alternativamente, la linea degli ordini può essere prelevata da due operatori con un robot in parallelo. Il terzo scenario sarebbe la diretta collaborazione tra uomo e robot. Una volta che le scatole sono piene con i rispettivi ordini vengono trasportati nel buffer di consolidamento.

3. Dopo l'imballaggio, le scatole sono etichettate e trasportate per la spedizione.

Figura 3.14: Sistema AutoPiQ (Swisslog, 2017)

AutoPiQ può quindi trasformare il sistema goods-to-person CarryPick e il sistema per lo stoccaggio e il picking AutoStore in workstation interattive uomo-robot. Una caratteristica distintiva di AutoPiQ sarà il fatto che la workstation potrà essere servita da una persona e un robot allo stesso tempo, senza la necessità di una barriera o recinzione tra uomo e macchina. Utilizzando le tecnologie di imaging e sensori LBR di iiwa, Swisslog e KUKA hanno creato un concetto lungimirante adatto per le applicazioni industriali (Swisslog, 2017).

3.8 Classificazione dei robot collaborativi e degli AGV

Nel capitolo precedente si è andati a fare una classificazione dei robot collaborativi in base alle loro caratteristiche tecniche. In questo paragrafo si è ritenuto opportuno invece fare una classificazione dei cobot e degli AGV in base al tipo di applicazione. Si è deciso di concentrarsi su questo tipo di classificazione in quanto ogni azienda produttrice, nello sviluppare un cobot, deciderà a quale fascia di mercato rivolgersi e quindi su quali applicazioni puntare.

La tabella 3.1 è stata costruita prendendo in considerazione i vari robot collaborativi analizzati nel capitolo precedente, gli AGV descritti in questo capitolo e le loro possibili applicazioni. Dalla tabella 3.1 è possibile notare dove le applicazioni risultano meno concentrate e quindi sono applicazioni per cui il produttore potrebbe avere un vantaggio competitivo. Inoltre è possibile distinguere tre zone di concentrazione delle diverse applicazioni dovuti alle richieste del cliente: non concentrata, poco concentrata e molto concentrata.

Ad esempio per l'assemblaggio di piccole parti YuMi è stato progettato specificamente per le esigenze di assemblaggio di piccole parti, in particolare nel settore dell'elettronica di consumo risultando così un modello per questo tipo di applicazione non concentrata. Una delle sue peculiarità è che il robot è parte integrante di una soluzione completa per l'assemblaggio di piccoli pezzi, che comprende mani adattabili, alimentatori flessibili, sensori per il controllo della forza, guida con sistemi di visione, oltre a sistemi di controllo e software avanzati. YuMi incontra la domanda del mercato che è guidato dall'esigenza di grande flessibilità nella manifattura automatizzata. Nella manifattura, il mercato ha cambiato le regole in modo tale che sia indirizzata effettivamente solo dall'automazione. La “nuova norma” dell'assemblaggio di piccole parti è produrre volume sempre maggiori con minori tempi di produzione e un sempre maggiore trend verso la customizzazione per il cliente finale. Un'altra applicazione non concentrata e soprattutto innovativa riguardo l'uso dei robot collaborativi risulta essere quella della colonscopia. Comau ha contribuito significativamente allo sviluppo della piattaforma robotica che comprende

l'utilizzo del robot collaborativo Racer3 AURA per la movimentazione magnetica di una capsula robotica per procedure di colonscopia indolore.

Le zone maggiormente concentrate sono quelle per cui la specifica applicazione è richiesta in quasi tutti i settori. Ad esempio le fasi di movimentazioni materiali, picking, confezionamento e pallettizzazione risultano le applicazioni più usate nei settori industriali in quanto spaziano da settori come quello alimentare fino a quello automotive.

I restanti, quelli con poca concentrazione, come ad esempio lucidatura, assemblaggio, avvitatura, sigillatura risultano essere applicazioni più specifiche usate solo in determinati settori industriali come quello degli elettrodomestici e del settore automotive.

La presenza di tutte queste applicazioni nella robotica collaborativa è una base su cui dover puntare e sviluppare in futuro nuove applicazioni per poter venire meglio incontro alle esigenze del cliente.

Tabella 3.1 : Classificazione dei robot collaborativi ed AGV prima parte

APPLICAZIONI	MANIFATTURIERE		LOGISTICA	MANIFATTURIERE	LOGISTICA	MANIFATTURIERE	SANITARIE
	Assemblaggio di piccole parti	Controllo qualità	Pallettizzazione	Asservimento macchine	Confezionamento	Saldatura	Colonscopia
ABB YuMi	●						
FANUC CR-4iA		●					
FANUC CR-7iA/L	●	●	●	●			
FANUC CR-7iA	●	●	●	●			
FANUC CR-35iA			●	●	●		
UR3						●	
UR5					●	●	
UR10			●		●		
YASKAWA Motoman HC 10		●			●		
KUKA LBR iiwa							
BAXTER					●		
SAWYER		●			●		
COMAU RACER3		●	●				●
COMAU NJ 60					●	●	
AGV MIR 100							
AGV LEO LOCATIVE							
INDEVA AGV TUNNEL							
INDEVA AGV TUGGER							
AGV L-MATIC							
AGV OMRON							

Tabella 3.1: Classificazione dei robot collaborativi ed AGV seconda parte

APPLICAZIONI	MANIFATTURIERE		LOGISTICA	MANIFATTURIERE	LOGISTICA	MANIFATTURIERE	
	Incollaggio	Avvitatura	Picking	Assemblaggio	Movimentazione materiali	Sigillatura	Lucidatura
ABB YuMi			●				
FANUC CR-4iA			●	●	●	●	
FANUC CR-7iA/L			●	●	●	●	
FANUC CR-7iA			●	●	●	●	
FANUC CR-35iA			●	●	●		
UR3	●	●	●	●			●
UR5		●	●				
UR10			●	●		●	
YASKAWA Motoman HC 10			●	●	●		
KUKA LBR iiwa		●	●	●			
BAXTER			●		●		
SAWYER	●						
COMAU RACER3				●	●		●
COMAU NJ 60				●	●		●
AGV MIR 100					●		
AGV LEO LOCATIVE					●		
INDEVA AGV TUNNEL					●		
INDEVA AGV TUGGER					●		
AGV L-MATIC					●		
AGV OMRON					●		
AGV SWISSLOG					●		

CAPITOLO 4

Sicurezza e scelta dei robot collaborativi

La scelta di una modalità produttiva ibrida uomo-robot è dettata principalmente dai seguenti benefici (Ciuti, 2017):

- *Flessibilità*: aiutano a gestire una produzione sempre più differenziata e customizzata.
- *Produttività*: continuità lavorativa anche senza l'operatore.
- *Qualità* del lavoro e del prodotto finito (più competitivo) con identificazione errori.
- *Autonomia*: i cobot imparano dall'operatore il compito da eseguire e lo replicano nello stesso modo.
- *Economicamente competitivi* rispetto alle macchine fisse ad alta automazione.
- *Spazio*: utilizzo di spazi ristretti ed esistenti.

4.1 Analisi qualitativa di profittabilità

Un utile parametro per la valutazione della profittabilità è il costo per unità di prodotto. Tale valore è ottenibile sommando, tra gli altri, il costo fisso del macchinario, il tempo di setup e i costi operativi diretti. L'andamento del costo è decrescente all'aumentare dei volumi di produzione per tutte le soluzioni automatizzate nell'ipotesi che i costi fissi siano diluiti nella dimensione della produzione: maggiore è l'investimento iniziale e la complessità del macchinario, maggiori saranno i volumi richiesti per una effettiva riduzione del costo unitario equivalente.

Nella Figura 4.1 si può osservare l'andamento semplificato dei costi operativi diretti e indiretti per unità di prodotto comparando le tipologie di tecnologie robotiche. Le aree tratteggiate segnalano le regioni in cui ciascuna curva assume i valori inferiori. La robotica collaborativa (arancione) si colloca in un



area di competitività (aree tratteggiate) intermedia tra la modalità manuale (verde) ed automatica tradizionale (nera, rossa) .

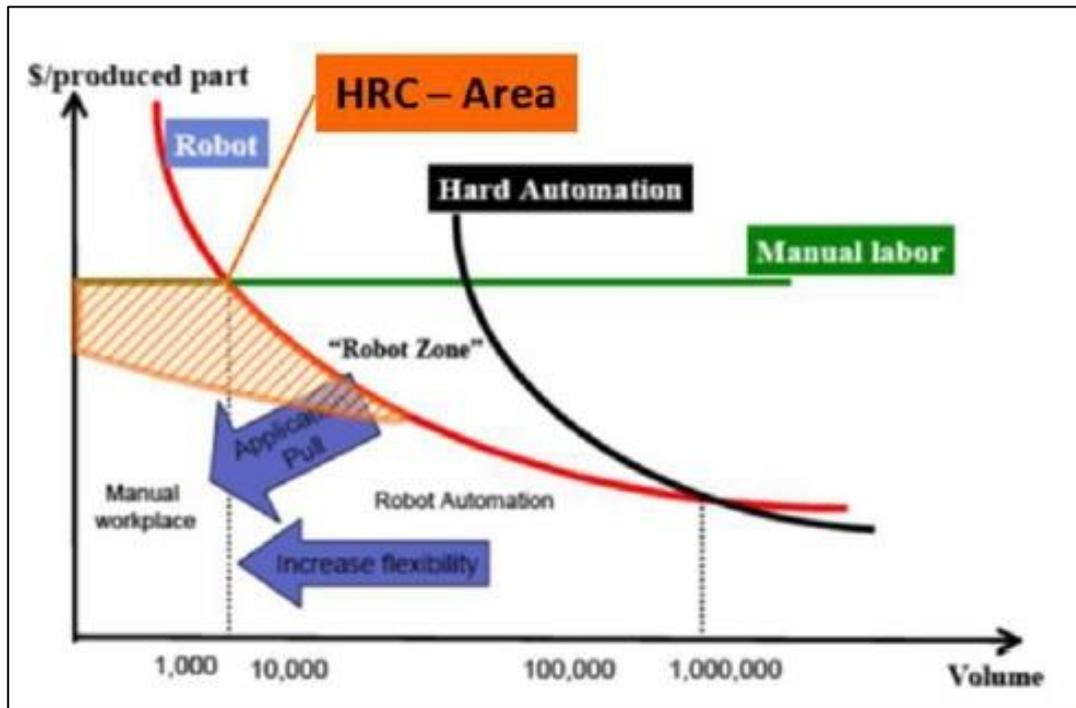


Figura 4.1: Diagramma della profittabilità dei vari approcci in robotics (World Robotics Report, 2007)

Un'ulteriore semplificazione assume un andamento non lineare del profilo di costo unitario, nell'ipotesi di concentrare i costi più elevati nella fase di setup e di ottenere un rapido aumento di produttività iniziale in grado di accelerare la fase di recupero dei costi fissi. A una progressiva specializzazione della soluzione di automazione, si ipotizza che i costi fissi siano maggiori ma che sia raggiungibile una ottimizzazione più accentuata, chiaramente a volumi maggiori. Per robot collaborativi a utilizzo ibrido è lecito attendersi una produttività, in termini di volumi e rendimento, assai inferiore al caso delle macchine specializzate. A regime, il costo unitario si manterrà più elevato per le soluzioni collaborative più flessibili. Al contrario, il costo unitario delle operazioni manuali si può considerare quasi costante, trascurando il valore dell'attrezzaggio e di altri costi fissi rispetto alle soluzioni automatizzate e trascurando anche il tempo di setup. Le assunzioni sulle modalità manuali sono chiaramente rilevanti, ma appaiono ragionevoli almeno per una buona parte delle innumerevoli varianti che si possono riscontrare nelle applicazioni manuali (assemblaggi, verifiche, ispezioni, preparazione materiale, packaging

ecc.). La soluzione manuale risulta competitiva, al confronto diretto, per volumi estremamente ridotti, in cui i costi fissi e di setup non hanno possibilità di riduzione, oppure per compiti completamente non automatizzabili. La robotica collaborativa può essere uno strumento di competitività per le produzioni di volumi medio-piccoli, in termini assoluti (lotti piccoli) o relativi (volumi limitati per unità di tempo): riconfigurazioni efficienti e assistenza alle capacità manuali sono i fattori che aumentano la produttività e diminuiscono il costo unitario. A fronte di una riduzione di costo di questo tipo, è possibile, poi, valutare correttamente il ritorno sull'investimento di una soluzione collaborativa anche se in media si ha un ROI inferiore ad un anno (195 giorni). Limitando l'analisi al solo fattore di costo, quindi, in presenza di un aumento dell'incidenza del costo del lavoro (innalzamento linea verde in Figura 1.2), l'area di profittabilità della soluzione ibrida (area arancione) si espande. Lo stesso risultato si osserva al diminuire del costo fisso per la soluzione collaborativa: facilità di setup o riconfigurazione, facilità di programmazione, utilizzo di tool standard, sono alcuni degli elementi che nella robotica collaborativa contribuiscono a snellire la fase a costi fissi (Vicentini, 2017).

4.2 Produttività e valore

La profittabilità deve essere analizzata considerando elementi come l'aumento della produttività, ovvero maggior volume e minor tempo globale impiegato rispetto a soluzioni ottimali, e la diminuzione dei costi nascosti (ripresa errori, scarti, costi per riduzione/sospensione delle mansioni da logoramento).

La movimentazione di materiale, la preparazione di semilavorati, la predisposizione di strumenti ed attrezzaggi sono attività ripetitive e di elevato impatto ergonomico in quanto sono attività da robot. Se il robot collaborativo funziona a supporto dell'operatore, ovvero si comporta da robot, toglie all'operatore compiti da robot e ne potenzia le capacità. L'aumento di produttività, mantenendo manuali le attività a maggiore valore aggiunto, si può ottenere attraverso un'attenta gestione degli spazi e dei flussi. Un ulteriore

elemento di aumento dell'efficienza nell'uso delle soluzioni collaborative è dato dalla facilità di interazione, come la semplicità di addestramento e programmazione, la possibilità di correggere o modificare in linea le traiettorie o le operazioni sul pezzo (Vicentini, 2017).

4.3 Ergonomia

L'altro aspetto di fondamentale importanza riguarda l'aspetto della salute sul luogo di lavoro. Tra i fenomeni si possono sicuramente identificare gli eventuali danni, puntuali o cronici, alla salute, dovuti ad affaticamento, lesioni articolari o piccoli infortuni che portano alla diminuzione delle capacità operative globali degli addetti nelle operazioni manuali. Il fattore ergonomico rappresenta un punto di forza della robotica collaborativa. Esempi di miglioramento delle condizioni includono il supporto per la movimentazione e il posizionamento di tool pesanti o complessi o pericolosi, le operazioni di montaggio in posizioni scomode o difficilmente raggiungibili. In tutti i casi si verifica un alleggerimento del carico di lavoro fisico sull'operatore, a parità di produttività o con output addirittura maggiore (Michalos et al, 2017).

4.4 Ottimizzazione dello spazio di fabbrica

Altro aspetto di competitività delle soluzioni collaborative è dato dalla semplificazione o il miglior uso del layout di impianto, in termini di flessibilità. Grazie alla possibilità di avvicinare il sistema robotizzato all'operatore, lo spazio può essere condiviso in maniera più efficiente. Non solo si riducono gli spazi occupati, ma si possono anche introdurre concetti di organizzazione degli spazi e dei flussi più liberi (Ciuti, 2017).

4.5 Spazio collaborativo

Le soluzioni collaborative ampliano la gamma delle possibili configurazioni di cella, e la progettazione degli spazi risulta assai importante. La separazione fisica viene meno e si profilano nuove condizioni di rischio nell'utilizzo dello spazio di lavoro. Lo spazio collaborativo è la porzione di cella dedicata alla compresenza uomo-robot, in qualsiasi essa modo avvenga. Il compito del

robot collaborativo è di fornire capacità di automazione, in modo semplice, intuitivo e sicuro. Il punto di partenza per ogni considerazione di sicurezza è, invece, lo spazio in cui sono organizzate le azioni dei sistemi robotizzati e degli operatori. In particolare, in spazi aperti senza barriere è possibile attuare una nuova modalità di interazione fisica, che comprende il contatto (Ciuti, 2017).

4.6 Modificabilità degli spazi collaborativi

Piattaforme mobili e combinazioni di manipolazione su supporto rilocabile offrono una grande flessibilità nella impostazione e sfruttamento del layout. L'operatore, che si adatta o determina il cambiamento di layout, è quindi sottoposto a un'ulteriore dimensione (il tempo) di spazio condiviso. La condivisione dello spazio di lavoro consente di poter utilizzare tutto l'ambiente in modalità ibrida cioè operatori-robot. Lo spazio collaborativo è quindi esteso ben oltre il volume di lavoro del robot e del sistema robotizzato. In questa configurazione, le diverse possibilità di configurazione e utilizzo si combinano naturalmente con le tecnologie di virtualizzazione degli elementi, l'interconnessione dei protocolli, le interfacce di gestione, il flusso di comandi e istruzioni. Dal punto di vista della sicurezza, lo spazio condiviso in maniera dinamica rende più articolato il processo di analisi in quanto servono una buona competenza sia dell'impianto normativo che della tecnologia di base (Vicentini, 2017).

4.7 Sicurezza nella collaborazione uomo-robot

Negli anni sono state introdotte diverse strategie riguardo la sicurezza dell'operatore. Queste strategie includono:

- la sicurezza riguardo lo scontro tra operatore, robot e ostacoli deve essere assicurata da una collisione controllata e sicura. La limitazione della forza esercitata sull'operatore è l'obiettivo principale;
- la "sicurezza attiva" per rilevamenti imminenti di scontri tra operatore e attrezzatura e stop controllato dell'operazione in corso. Sensori di

prossimità, sistemi di visione e sensori di forza/contatto possono essere una soluzione;

- la “sicurezza adattabile” per interventi nelle operazioni di attrezzatura hardware con azioni correttive che conducono la collisione ad evitare il fermo macchina.

Tabella 4.1: Leggi e normative sulla robotica (Michalos et. al, 2015)

Direttive EU	
Title	Description
2006/42/EC	Machinery Directive (MD)
2009/104/EC	Use of Work equipment Directive
89/654/EC	Workplace Directive
2001/95/EC	Product Safety Directive
2006/95/EC	Low Voltage Directive (LVD)
2004/108/EC	Electromagnetic compatibility Directive (EMC)
Standard generali	
Title	Description
EN ISO 12100	Safety of machinery - General principles for design - Risk assessment and risk reduction
EN ISO 13849-1/2	Safety of machinery - Safety-related parts of control systems - Part 1: General principles for design, Part 2: Validation
EN 60204-1	Safety of machinery - Electrical equipment of machines - Part 1: General requirements
IEC 62061	Safety of machinery – Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems
Robot Standards	
Title	Description
EN ISO 10218-1	Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots - Part 1: Robots
EN ISO 10218-2	Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots - Part 2: Robot systems and integration
ISO/PDTS 15066	Robots and robotic Devices – Collaborative Robots

In questa direzione, standard nazionali e internazionali, direttive e leggi sono state introdotte per consentire di integrare facilmente la sicurezza nel mondo della robotica collaborativa. Considerando il fatto che lo spazio di lavoro collaborativo non solo implica la collaborazione tra uomo e robot ma anche altri dispositivi ausiliari (cacciavite elettrico, morsa elettrica..), ogni cella di

lavoro presenta rischi unici che necessitano di essere gestiti con sicurezza. Di conseguenza, leggi e direttive dovrebbero essere rispettate per ogni tipo di operazione e attrezzatura. La tabella 4.1 riassume le principali leggi e direttive EU e specialmente per le celle robotizzate prevede differenti strategie per raggiungere la sicurezza e sono:

- *Safety-related control system performance*: la sicurezza connessa al sistema di controllo deve assicurare che la tolleranza nel singolo guasto può essere raggiunta senza compromettere la sicurezza.
- *Robot Stopping Function*: tutti i robot necessitano di avere uno stop di emergenza connesse con attrezzature di sicurezza esterne.
- *Speed Control*: la velocità dell'end-effector del robot e del "tool centre point" (TCP) deve essere controllabile. Specialmente per spazi di lavoro collaborativi la velocità del TCP (Figura 4.2) non dovrebbe superare 250 mm/s.



Figura 4.2: Tool center point (UR, 2018)

- *Collaborative operation requirements*: i robot designati per operazioni collaborative dovrebbero fornire una indicazione visiva quando il robot è nella modalità collaborativa. I requisiti applicabili nelle operazioni collaborative sono:

- *Safety Rated Monitored Stop*. Il robot necessita di fermarsi quando l'operatore è nell'area di lavoro condivisa e può riprendere operazioni automatiche quando l'operatore esce da questa area.
- *Hand guiding*. La guida manuale del robot necessita di avere uno stop di emergenza e di un dispositivo di attivazione. Durante questa operazione, la velocità del robot dovrebbe essere monitorata in modo sicuro e certificata.
- *Speed and position monitoring* . Il robot deve mantenere una distanza di separazione dall'operatore, monitorata da una combinazione di input esterni.
- *Power and force limiting by inherent design*. Le funzioni di limitazione di forza e potenza devono rispettare i limiti imposti dalle direttive EU e se questi limiti vengono superati deve essere garantito lo stop.
- *Power and force limiting by control system*. Questa funzione, grazie al sistema di controllo, deve assicurare che il valore della forza e della potenza non deve superare i limiti consentiti.
- *Limiting Robot Motion*: la limitazione del movimento del robot può avvenire tramite sistemi integranti del robot, installando dispositivi esterni o da una combinazione di entrambi.
- *Collision detection*: affinché la collisione tra operatore e robot possa avvenire al minimo impatto la funzione di sicurezza necessita di determinare la posizione corrente e la velocità di robot e operatore.
- *Establishing minimum separation distance*: in base al tipo di applicazione si ha una valutazione del rischio usata per stabilire la minima distanza di separazione tra operatore e robot. Questa valutazione considera: il pericolo associato con l'end-effector, il layout dell'area di lavoro, gli operatori di determinate attività e la fruibilità del sistema.

- *Technological and ergonomical requirements*: in caso di possibile collisione tra operatore e robot, l'area di contatto non deve avere punti taglienti, spigolosi o superfici ruvide. L'area di condivisione del lavoro deve essere sufficientemente grande da garantire la sicurezza dell'operatore (Michalos et al., 2015).

Lo standard tecnico di riferimento ISO 10218-2:2011 è del 2011, ma esso stesso indica che “informazioni addizionali e linee guida sulle operazioni con robot collaborativi saranno contenute nella ISO/TS 15066”. La specifica tecnica ISO/TS 15066 è stata pubblicata ad inizio 2016 e definisce i modi collaborativi permessi con i relativi limiti di forza e velocità permessi al robot laddove applicabili. A seguito della pubblicazione di tali norme la commercializzazione dei primi robot collaborativi è iniziata nel 2011 a partire da robot per bassi carichi (UR5, UR10, Kuka LWR IIWA...) fino ai più nuovi e più forti Fanuc CR-35iA e COMAU Aura che è ad oggi il robot collaborativo col più alto payload (Gerio et. al, 2017).

4.7.1 Modalità collaborative

Una volta consolidata l'opportunità e la necessità di condividere lo spazio di lavoro si analizzano gli scenari dell'applicazione per individuare le modalità di contatto attese durante l'uso. Le modalità collaborative descritte nella normativa di riferimento EN ISO 10218-1, EN ISO 10218-2 e ISO/PDTS 15066 sono:

- Guida Manuale (Hand Guiding).
- Stop di sicurezza monitorato (Safety-rated Monitored Stop).
- Monitoraggio della separazione e della velocità (Speed and Separation Monitoring).
- Limitazione della forza e della potenza (Power and Force Limitation).

La modalità Hand Guiding (HG) utilizzata sui robot industriali tradizionali ha rappresentato una delle prime forme di collaborazione con l'operatore, nel senso di intuitività della interazione. Nata per aiutare la fase di addestramento, in cui fosse richiesto di agire direttamente vicino al processo addestrato, la modalità HG ha la caratteristica di consentire una velocità operativa legata

all'effettivo processo, determinata in sede di valutazione del rischio. L'impiego tipico è a medie velocità (250-1000 mm/s) per la classe di robot tradizionali. Non esiste possibilità logica di contatto involontario durante una funzione di guida diretta del moto poiché i requisiti dei dispositivi di comando da utilizzare in questa modalità impongono la presenza continuativa dell'operatore in azione sul sistema.

La modalità Safety-rated Monitored Stop (SMS) è una modalità collaborativa che lega la condizione di fermata temporanea del sistema robotizzato con l'occupazione, interamente o limitatamente a una porzione ben delimitata e identificata, dello spazio di lavoro. Il robot deve essere fermo quando l'operatore è all'interno dello spazio collaborativo. La modalità collaborativa SMS viene scelta e implementata come misura di semplice compresenza senza movimento, sufficiente alla protezione dal pericolo di contatto, laddove l'operatore necessita di utilizzare uno spazio collaborativo, inserendosi nel ciclo di lavoro: è principalmente riservata a robot tradizionali, per i quali i contatti non possono mai essere attenuati.

Speed and Separation Monitoring (SSM) è la modalità collaborativa utilizzata per la gestione della presenza dell'operatore all'interno dello spazio di lavoro condiviso, allo scopo di evitare contatti. La SSM regola infatti la distanza minima da mantenere con l'operatore, eventualmente riducendo la velocità per mantenere tale distanza. La motivazione dell'uso di questa modalità collaborativa è il mantenimento in esecuzione del ciclo di lavoro, compresi i movimenti attivi, e non soltanto una sospensione dello stesso. Una gestione flessibile degli spazi può, infatti, prevedere zone differenziali di movimento e protezione, modulando opportunamente la velocità.

Power and Force Limitation (PFL) è la modalità collaborative principale per regolare tutte le condizioni di potenziale contatto, sia volontario che accidentale. Attraverso le linee guida della modalità PFL si valuta quindi l'andamento atteso della pressione su ciascun distretto corporeo esposto al pericolo di contatto di qualsiasi tipologia, determinando una soglia limite accettabile. In caso di superamento atteso del limite, il requisito impone

l'azione di protezione o come tipica azione di comando o, dato il legame forza-superficie, dotando il sistema robotizzato di maggiori superfici all'interfaccia di impatto. Le misure adottate devono contribuire alla riduzione del valore di pressione al di sotto della soglia individuata (Vicentini, 2017).

Nella Figura 4.3 sono riportati i valori limite di forza e pressione tra uomo e robot. Nello specifico vengono riportati tutti i valori limite di contatto con le diverse parti del corpo. E' possibile suddividere il contatto in due categorie: il contatto quasi statico e il contatto transitorio. Il contatto quasi statico riguarda i casi in cui l'operatore rimane incastrato per esempio tra robot e muro. Il contatto transitorio, invece, riguarda il contatto tra robot ed operatore quando quest'ultimo è di passaggio. La Figura 4.3 riporta anche questi due tipi di contatti con i rispettivi valori soglia di forza e pressione.

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	
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 4.3: Valori limite di forza e pressione tra uomo e robot (COMAU, 2018)

CAPITOLO 5

Evoluzione del processo logistico con la robotica collaborativa

La rivoluzione digitale sta cambiando uno dei settori più importanti di un'azienda: la logistica. Per essere più competitive, le aziende devono migliorare le loro prestazioni, ottimizzando la produttività mediante la riduzione dei tempi di produzione e di consegna dei prodotti. A tal fine occorre un intervento significativo nella gestione dei processi e delle informazioni, sia all'interno delle singole organizzazioni che nelle relazioni con soggetti terzi. La parola chiave, anche per i flussi della logistica, è "Lean Thinking" ossia generare valore per i clienti, eliminando tutti gli sprechi e le attività a non valore aggiunto, è l'obiettivo del "pensiero snello" (Morandotti, 2017).

Un ruolo determinante sarà giocato dai robot collaborativi, strumenti in grado di lavorare a fianco con l'essere umano. Le maggiori attrattività per le applicazioni collaborative si verificano laddove è maggiore la sensibilità ai criteri di ergonomia, di benessere dei propri operatori, o dove si crea molto valore aggiunto, o dove la modifica del processo di lavorazione libera spazio e risorse. Ad esempio, ipotizzando un compito manuale di avvitatura ripetuta in verticale o in posizioni scomode, si possono riscontrare benefici in termini di alleggerimento dello sforzo, l'azzeramento degli errori, magari proprio dovuti alla posizione sfavorevole o agli effetti di usura nell'esecuzione del compito a fine turno o effetti di calo dell'attenzione se eseguiti manualmente. Il sollievo dall'avvitatura lascia all'operatore una maggiore concentrazione sui compiti più critici da eseguire nel medesimo spazio, quali ad esempio il pre-posizionamento, la verifica dei riscontri, gli aggiustaggi, con la possibilità di supervisionare più di una operazione in esecuzione in parallelo nello stesso spazio. Un ulteriore esempio consiste nell'assemblaggio o disassemblaggio di componenti elettronici o meccatronici (connettori, inserti, contatti), in cui

l'operazione prevede spesso un movimento di posizionamento combinato con uno di inserimento o rimozione di componenti sul pezzo in posizionamento.

Una classe di esempi di grande importanza comprende le operazioni di ispezione e collaudo, in cui più che l'operazione coordinata sugli stessi componenti, prevale la compresenza nello stesso spazio per eseguire meglio e più rapidamente i compiti di prova di un prodotto a fine linea. I collaudi sono spesso caratterizzati da sequenze di test predeterminate, applicazione di sollecitazioni controllate (meccaniche, termiche, elettriche) di cui essenziale è il rispetto delle specifiche. Nel caso, ad esempio, l'operatore fallisse nell'esercitare completamente o correttamente tali sollecitazioni, le strumentazioni di collaudo rilevrebbero la violazione della procedura, imponendo una ripetizione. L'integrità del collaudo non verrebbe compromessa, tuttavia il tempo ciclo subirebbe gravi ritardi. Attraverso soluzioni di robotica collaborativa, le fasi di collaudo maggiormente e criticamente ripetitive possono essere efficacemente assegnate al robot, mentre in contemporanea, sullo stesso prodotto, l'operatore esegue controlli funzionali esclusivamente umani per destrezza (interazione con una interfaccia) o per caratteristiche qualitative. Un sistema robotizzato sarebbe difficilmente in grado di competere con un operatore esperto in velocità di scansione visiva, elaborazione e giudizio, a meno della necessità di sensoristica speciale. Lo scopo quindi è quello di non gravare l'operatore con controlli più adeguati ad un robot, limitando la probabilità di errori.

Spostando lo sguardo su l'e-commerce, settore in cui sta determinando una crescita esponenziale della richiesta di manodopera e di risorse specializzate. Le vendite online necessitano solitamente di raccogliere e confezionare i prodotti singolarmente e devono essere spediti separati e consegnati direttamente nelle case dei clienti. Una soluzione pratica potrebbe arrivare dall'utilizzo di robot durante tutte le varie fasi della catena logistica, dallo smistamento alla consegna della merce. Si potrebbero applicare robot per carico e scarico dei veicoli e dei container, operazioni che oggi, per le merci non pallettizzate, vengono realizzate quasi sempre manualmente.

Poi ancora robot per il picking, che possono cercare, prelevare e portare le merci nel punto prestabilito e svolgere operazioni di co-packing e personalizzazione per la realizzazione di confezioni speciali sempre più richieste nel mondo retail. La scelta di implementare la Lean deriva dal continuo ritardo nelle consegne ai clienti che spinge ad una riorganizzazione che migliori l'affidabilità dell'azienda. Nell'acquisizione degli ordini, il fine è la riduzione dei tempi di evasione, per l'approvvigionamento dei materiali e la produzione, invece, lo scopo è ridurre considerevolmente i livelli di stock e semplificare i processi, gestendo gli aspetti fisici quali movimentazioni, stoccaggi e trasporti, e gli aspetti informativi quali pianificazione, inventari e feedback.

Altra applicazione importante dove è possibile utilizzare i robot collaborativi riguarda il confezionamento di prodotti freschi. Ad esempio, se un operatore confezionasse uova sarebbe un processo ripetitivo e delicato che non darebbe nessun valore aggiunto al prodotto. Quindi sarebbe opportuno far svolgere questa operazione al robot collaborativo. Questo porta un aumento dell'efficienza in quanto il tempo di confezionamento diminuisce, aumentando così il servizio del cliente. Il settore alimentare, soprattutto quello fresco, è caratterizzato dalla variabilità della domanda dove molto spesso è possibile evaderla grazie proprio all'aiuto dei robot collaborativi.

Altri esempi sono riportabili, tutti accomunati dall'esecuzione di compiti a stretto contatto e da operazioni magari semplici per il sistema robotizzato ma di grande impatto sull'efficienza ed ergonomia di tali compiti. Questi aspetti non sono affatto secondari nel mantenimento di competitività ed efficacia per un periodo più lungo nella vita lavorativa, soprattutto in considerazione dell'aumento dell'età media degli addetti in molti settori. Usabilità, semplicità ed ergonomia sono gli aspetti esteriori di maggiore attrattività nell'utilizzo di robot collaborativi (Morandotti, 2017).

5.1 Esoscheletri

Il termine esoscheletro significa scheletro esterno. Per esempio, molti insetti, granchi ed aragoste hanno degli esoscheletri che procurano sostegno piuttosto che scheletri interni come nel caso dell'uomo. Questo concetto di esoscheletro è stato trasformato come un sogno nell'indossare "l'abito da robot" per ottenere potenza, forza e resistenza che normalmente un essere umano non sarebbe in grado di avere. L'abito (Figura 5.1) viene fissato sul corpo usando



Figura 5.1: Esoscheletro (Harvard Biodesign Lab, 2017)

delle imbracature connesse alla struttura del robot, sensori, e motori che seguono e sostengono i movimenti di una persona mentre alzano e trasportano un oggetto pesante. Nel Luglio 2015, l'azienda Giapponese Panasonic ha annunciato che inizierà a vendere robot esoscheletri chiamati "The Assist Suit AWN-03". Pesando meno di 6 kg, questo abito si vende per meno di \$ 9,000 e consente all'uomo di trasportare 15 kg fino a otto ore con la carica di una sola batteria. Panasonic spera di vendere almeno 1000 esoscheletri all'anno e

pianifica di lanciare una versione migliore che permetterà all'uomo di trasportare oggetti fino a 80 kg. Panasonic vede il settore della logistica come la chiave del mercato riguardo questo prodotto e pianifica di offrire opzioni di leasing per chi volesse provare il prodotto.

Negli Stati Uniti, Harvard University sta lavorando sullo sviluppo di "soft exosuit" che non usano barre rigide di metallo. Questo prototipo è designato per simulare ed aumentare i muscoli dell'uomo attraverso l'uso di motori e fili. Inoltre l'abito è estremamente leggero e senza limitazioni di movimento su gambe e braccia. Altre università e società private stanno iniziando a

sviluppare esoscheletri in quanto vedono opportunità di miglioramento delle condizioni di lavoro per coloro che svolgono attività ripetitive e pesanti come nei settori della logistica, manufacturing, selvicoltura e costruzioni. Gli esoscheletri promettono alle persone di lavorare in maniera più produttiva con meno stress, fatica e infortuni come ad esempio nel settore della logistica gli esoscheletri permettono di sollevare i pacchi manualmente con meno fatica (Harvard Biodesign Lab, 2017).

5.2 La robotica nella logistica

Una delle più grandi sfide nel settore della logistica è la disponibilità della forza lavoro in quanto molte aziende nel mondo hanno difficoltà nel trovare dipendenti altamente qualificati nel movimentare i prodotti dal fornitore al consumatore. I fattori di competizione sono principalmente due: il primo è l'incremento della necessità di più operatori logistici. L'e-commerce ha cambiato il modo di acquistare un prodotto come anche la necessità di avere tanti lotti di spedizione. Il secondo fattore è la diminuzione della disponibilità della forza lavoro a causa di un calo del livello della popolazione nel mondo Occidentale. Alcuni studi (DHL report, 2017) prevedono un aumento del commercio online del 10% anno dopo anno in Europa ed in US. Entro il 2020 il commercio online in Cina sarà come quello di Francia, Germania, Giappone, UK ed US messi insieme. Questa crescita è dovuta al fatto che ogni prodotto venduto online richiede più forza lavoro rispetto all'acquisto tradizionale dello store. Questo perché, anziché di trasferire la merce nello store per volumi, l'ente di riferimento preleverà e confezionerà singolarmente l'acquisto fatto online. Inoltre il peso medio di ogni spedizione sta aumentando in quanto ogni consumatore ha a disposizione una vasta gamma di prodotti come ad esempio elettrodomestici, mobili etc. Per la prima volta nella storia, la popolazione futura sarà minore rispetto a quella del passato nel mercato maturo come quello dell'e-commerce. Rispetto al passato i dipendenti di molti aziende andranno in pensione in età avanzata a causa della scarsità di personale e quindi la logistica è un'occupazione difficile per chi già lavora in questo settore. Per combattere queste difficoltà, i manager della supply chain di

domani necessiteranno o di aumentare i costi riducendo il servizio oppure compensare con l'automazione che può supportare il lavoratore ed aumentare la produttività.

La ragione principale della mancanza di robot nel settore della logistica è tecnologica. Sino a poco tempo fa, i robot erano stazionari, nascosti, e relativamente non intelligenti. Essi eseguono stessi compiti per migliaia di volte al giorno con un alto grado di accuratezza e precisione. Per molti processi semplici di manufacturing, come la saldatura o trasferimento di parti, questi capacità sono ritenute necessarie. Il mondo della logistica è molto più complesso rispetto a quello del manufacturing e richiede robot con maggiore abilità (DHL report, 2017). I robot per la logistica devono gestire un ampio numero di parti differenti in un numero infinito di combinazioni. Per questo motivo nei paragrafi successivi si è ritenuto opportuno analizzare un centro di distribuzione ed un centro di smistamento.

5.3 Distribution Center con la robotica tradizionale

La maggior parte dei prodotti venduti in Europa e negli Stati Uniti sono prodotti in Asia e molti di questi attraversano l'oceano in container standard. Per risparmiare sui costi di trasporto, molti di questi prodotti sono caricati sui container e ammassati sul tetto senza pallet. Quando il container arriva al porto viene caricato sul camion e trasportato al distribution center. Successivamente si illustrerà il processo di un distribution center (Figura 5.2). All'arrivo, il contenuto del container viene solitamente scaricato a mano, smistato, e posizionato sui pallet così da poter essere immagazzinato sugli scaffali. Questo processo richiede molte ore in quanto viene fatto in modo manuale.

Lo scarico del container, una volta arrivato al distribution center, viene effettuato da diversi operatori avvicinando il nastro trasportatore nell'area di scarico. Gli operatori durante la fase di scarico dei pacchi scannerizzano ogni etichetta per verificare se l'ordine è presente nel sistema. Successivamente il pacco, spostandosi attraverso il nastro trasportatore, viene aperto da un operatore che scansionerà tutti i bar code dei prodotti all'interno del pacco per

verificare ancora una volta se il prodotto corrisponde all'ordine effettuato. Passata questa fase il singolo prodotto raggiunge la fase del controllo qualità dove un operatore scansionerà il prodotto per verificare se il prodotto è danneggiato. In seguito il prodotto viaggerà su dei vassoi dove l'operatore preleverà tutti i vassoi in arrivo per poterli andare ad immagazzinare attraverso un carrello negli appositi scaffali. L'operatore, una volta arrivato nello scaffale per depositare il prodotto, scansionerà nuovamente il prodotto in modo tale che la sua posizione sarà presente nel sistema.

Una volta ricevuto un ordine, un dipendente di una tradizionale warehouse spende parte del suo tempo camminando all'interno del magazzino per raccogliere tutti i prodotti riguardo un ordine. In un magazzino con prelievo manuale un dipendente può camminare per molti km.

Il magazzino è suddiviso in zone ed ogni zona ha un suo addetto che riceve le richieste di prodotti di sua competenza, li raccoglie e li manda avanti nella fase composizione ordini. Quando tutti i prodotti di un ordine sono stati raccolti vengono assemblati nella confezione più adatta, preparati per la spedizione, etichettati e affrancati. I colli sono suddivisi in modo automatico in base alla priorità, dimensione, tipo di spedizione e condotti attraverso nastri al contenitore del container che lo prenderà in carico. In questa fase viene svolto l'ultimo controllo di coerenza dato dalla dimensione ed il peso attesi e quelli effettivi. Se non coincidono il collo viene trattenuto e riesaminato. Tutto è orchestrato in modo rapido e automatico dal sistema logistico che sceglie in ogni momento le combinazioni più efficienti tra disponibilità di uomini e mezzi, complessità degli ordini da trattare, dislocazione degli articoli da recuperare, tempi di consegna concordati con i clienti e scadenze di trasferimento dei pacchi agli spedizionieri (AMAZON, 2017).

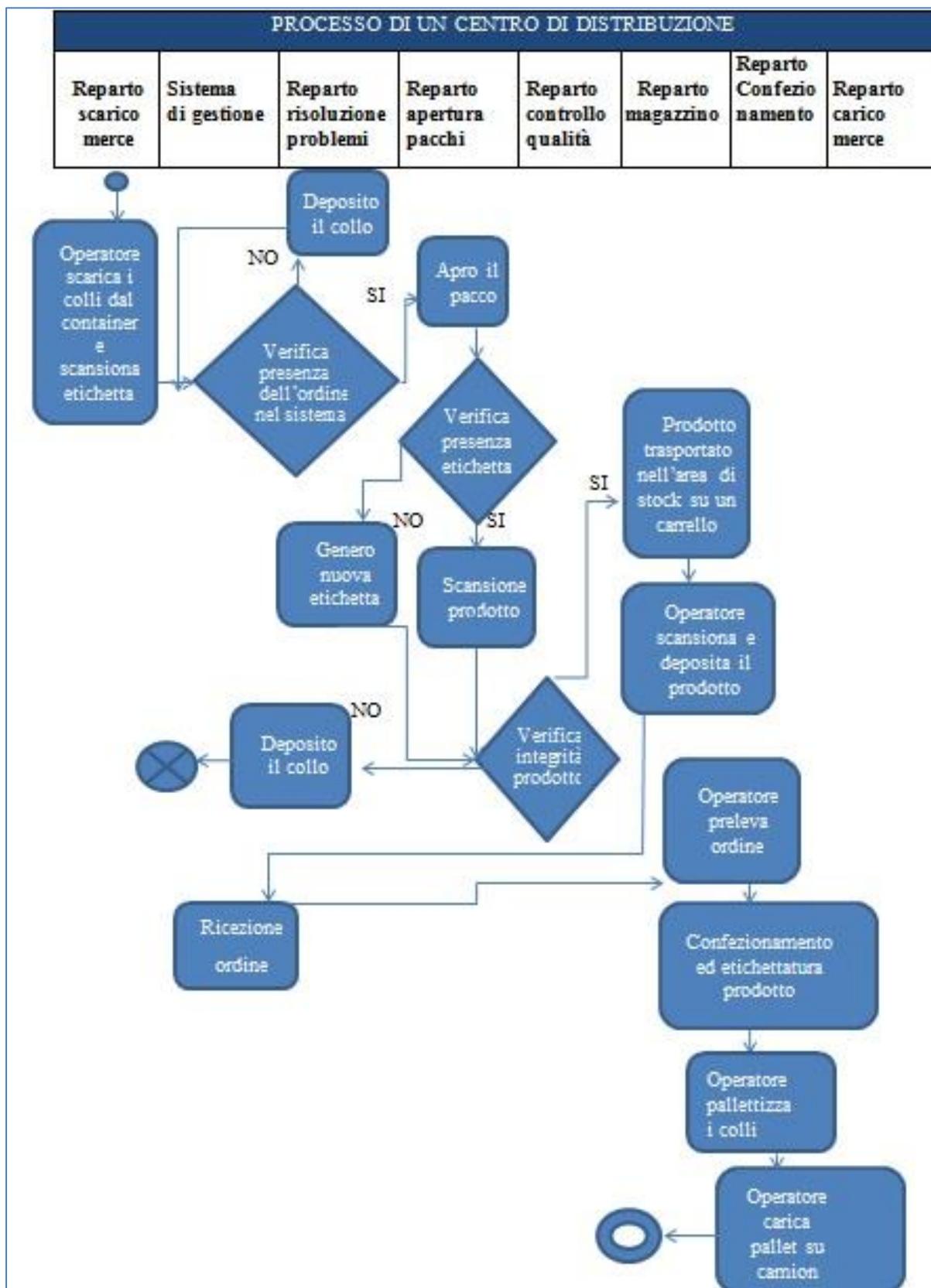


Figura 5.2: Processo di un Distribution Center

5.3.1 Distribution Center con la robotica collaborativa

In questo paragrafo verrà illustrato come il processo di un Distribution Center potrebbe cambiare con la robotica collaborativa (Figura 5.3). La fase di scarico del container, di prodotti differenti, si potrebbe migliorare utilizzando dei robot mobili collaborativi. Quindi nell'area di scarico sarà presente un robot mobile collaborativo che preleverà scatola dopo scatola e la posizionerà sul nastro trasportatore. Affinchè questo processo possa essere continuo è necessario avere nell'area di scarico un altro robot mobile in maniera tale che il robot scaricherà in modo continuo. Questi robot sono in grado di scansionare i bar code presenti sulle scatole per verificare l'esattezza dell'ordine in arrivo. Una volta che la scatola è sul nastro trasportatore un operatore aprirà la scatola in modo tale da garantire il giusto posizionamento per la fase successiva. In seguito verrà predisposto un operatore che preleverà ogni singolo prodotto presente nella scatola e lo sottoporrà a scansione per verificare se possiede un' etichetta. Se il prodotto è etichettato l'operatore lo farà procedere sul nastro trasportatore; in caso contrario etichetterà il prodotto senza etichetta e toglierà dal nastro gli scatoloni vuoti. I prodotti scansionati ed etichettati procederanno sul nastro per un controllo qualità, questa operazione verrà effettuata da un operatore in quanto preleverà il prodotto e lo sottoporà a scansione. Passata la fase di controllo il prodotto andrà su un nastro trasportatore e successivamente nell'apposito vassoio. I vassoi pieni verranno trasportati presso gli appositi scaffali da flotte di AGV dove troveranno un operatore che preleverà ogni singolo prodotto, lo collocherà nella giusta posizione e lo riscansionerà per definire la sua posizione esatta nel magazzino. Questa operazione potrebbe essere sostituita in futuro da un robot collaborativo mobile avendo così su una corsia la collaborazione tra AGV e cobot mobile in modo tale che l'AGV porterà il prodotto vicino agli scaffali dove sarà stoccato grazie all'aiuto di un robot mobile di prelievo.

Nel caso in cui dovesse arrivare un container di uno stesso prodotto l'operazione di scarico sarà gestita solo dal robot mobile collaborativo in quanto disporrà l'intera merce sui corrispettivi pallet. In questo caso

l'operazione di stoccaggio può essere fatta attraverso un AGV con forche Linde analizzato nel capitolo 3 che prenderà il pallet e lo posizionerà nello scaffale di riferimento.

Una volta ricevuto un ordine, un dipendente di una tradizionale warehouse spende parte del suo tempo camminando all'interno del magazzino per raccogliere tutti i prodotti riguardo un ordine. In un magazzino con prelievo manuale un dipendente può camminare per molti km. Per ridurre questo spreco di tempo è necessario introdurre robot che prelevino lo scaffale con i prodotti e che lo portino nella postazione di lavoro del dipendente. Dopo che il lavoratore ha prelevato il prodotto necessario, lo scaffale si allontana ed un nuovo scaffale arriva al suo posto. Questo sistema viene chiamato "goods-to-picker" ed è stato discusso nel capitolo tre quando si è parlato del sistema CarryPick di Swisslog. In futuro potrebbe esserci un robot collaborativo che preleverà il prodotto ordinato e lo posizionerà nella scatola. In seguito la scatola procederà sul nastro trasportatore dove ci sarà un robot collaborativo per la pallettizzazione. Una volta pronto il pallet andrà nell'area spedizioni dove un operatore o un AGV con forche potrebbe occuparsi della fase di carico.

I dipendenti dei vari centri di distribuzione in futuro avranno maggiori responsabilità come gestire operazioni, coordinare flussi, riparare robot e movimentare pacchi nel caso di ordini difficili. Questi pacchi potrebbero essere movimentati con l'aiuto di esoscheletri con meno fatica e rischi di infortuni garantendo meno sforzo al lavoratore. Se in futuro si riuscirà ad avere in input singoli prodotti confezionati e quindi etichettati e confezionati in modo singolo si riuscirà ad avere un magazzino smart, cioè un ambiente ordinato senza nastri trasportatori. I prodotti in input potrebbero essere scaricati da cobot mobili dove contemporaneamente potrebbero essere scansionati e depositati su flotte di AGV che andranno direttamente nell'area di immagazzinamento con l'aiuto di un cobot mobile. Il magazzino quindi avrà un area di scarico merce, un'area dove sarà immagazzinata con relativo prelievo fatto sempre dall'interazione tra AGV e cobot mobile. Se il prodotto

non avrà bisogno di essere personalizzato andrà nell'area spedizioni dove il robot collaborativo preleverà il prodotto e lo metterà su uno scaffale che verrà incontro attraverso il sistema CarryPick. Nel caso avesse bisogno di una personalizzazione andrà attraverso un AGV nella zona co-packing. Quando il pacco sarà pronto uno scaffale andrà nella zona co-packing dove il cobot preleverà il pacco e lo depositerà sullo scaffale. Quindi si avranno due scaffali, uno di pacchi personalizzati ed uno di pacchi pronti per essere spediti dove entrambi andranno nella zona spedizioni tramite il sistema CarryPick (AMAZON, 2017). Uno o più cobot mobili si dedicheranno per la fase di carico dei pacchi sul camion.

La presenza dell'operatore sarà nella "robot control center" dove gestirà le operazioni dei vari flussi, nella zona co-packing dove collaborerà con un robot collaborativo per personalizzare gli ordini ed infine per movimentare pacchi pesanti con l'aiuto di esoscheletri vicino l'area spedizioni. Infine ci saranno zone dedicate per la carica dei robot mobili collaborativi, per AGV e per la manutenzione/riparazione di quest'ultimi (DHL report, 2017).

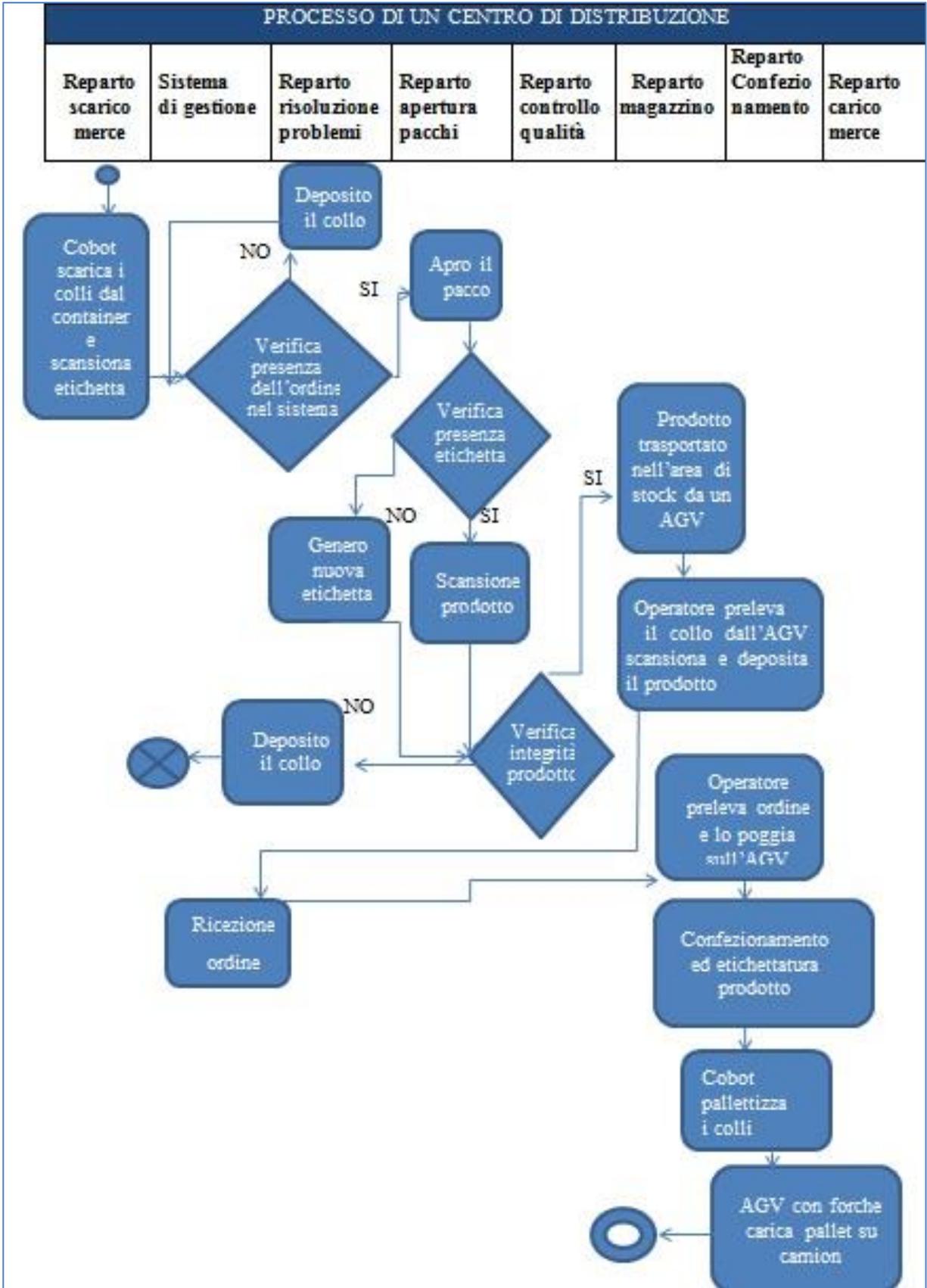


Figura 5.3: Processo di un Distribution Center con la robotica collaborativa

5.4 Sorting Center con la robotica tradizionale

Oggi un sorting center (Figura 5.4) si vede arrivare sempre più camion in ingresso con una necessità sempre maggiore di far arrivare in tempi brevi il prodotto al cliente finale. Questo è dovuto, oltre all'aumento dell'e-commerce, dalla necessità di tenere basso il livello di stock a causa degli alti costi di magazzino e della vasta quantità di prodotti in ingresso. Il processo di smistamento (Figura 5.5) inizia con l'operazione di scarico, fatta dall'operatore in modo manuale avvicinando il nastro trasportatore vicino la postazione di scarico. Una volta scaricati i pacchi procedono sul nastro dove avverrà la lettura di tutti i codici a barre per tenere traccia di tutti i colli in ingresso al sistema. Successivamente, sempre sul nastro avverrà il rilevamento del peso/volume di ogni collo che sarà smistato in modo automatico dal sistema di gestione dove andrà su nastri trasportatori specifici in base al tipo di spedizione. Il collo una volta indirizzato su uno specifico nastro trasportatore raggiungerà l'operatore che sarà pronto per la pallettizzazione. La fase di carico del pallet sul camion verrà fatta dall'operatore attraverso dei transpallet (DHL, 2017).

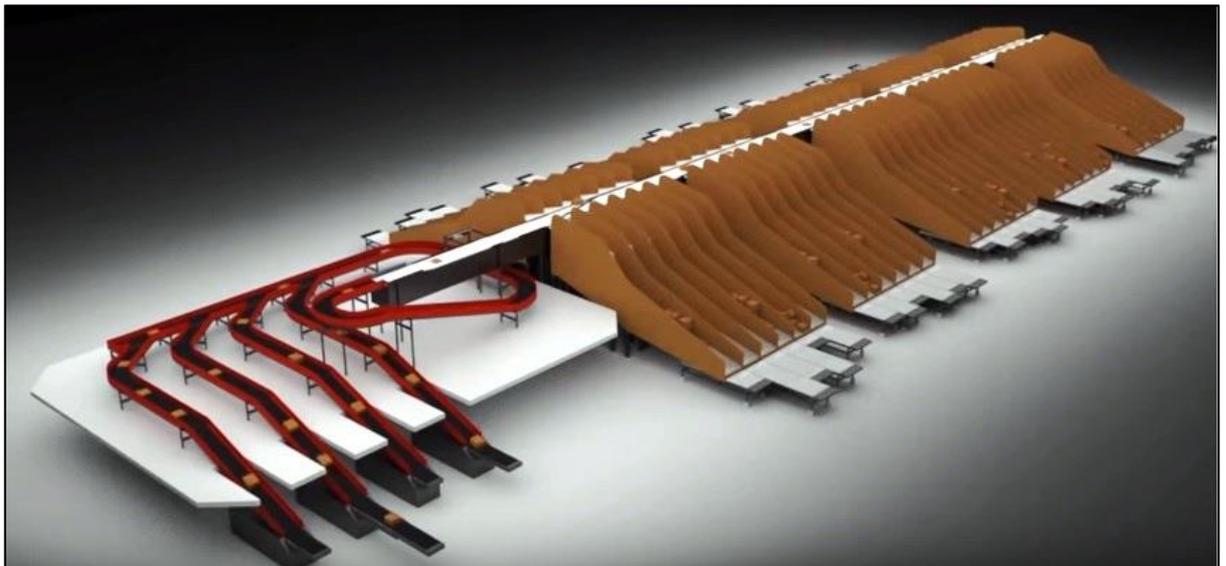


Figura 5.4: Sorting Center (DHL, 2015)

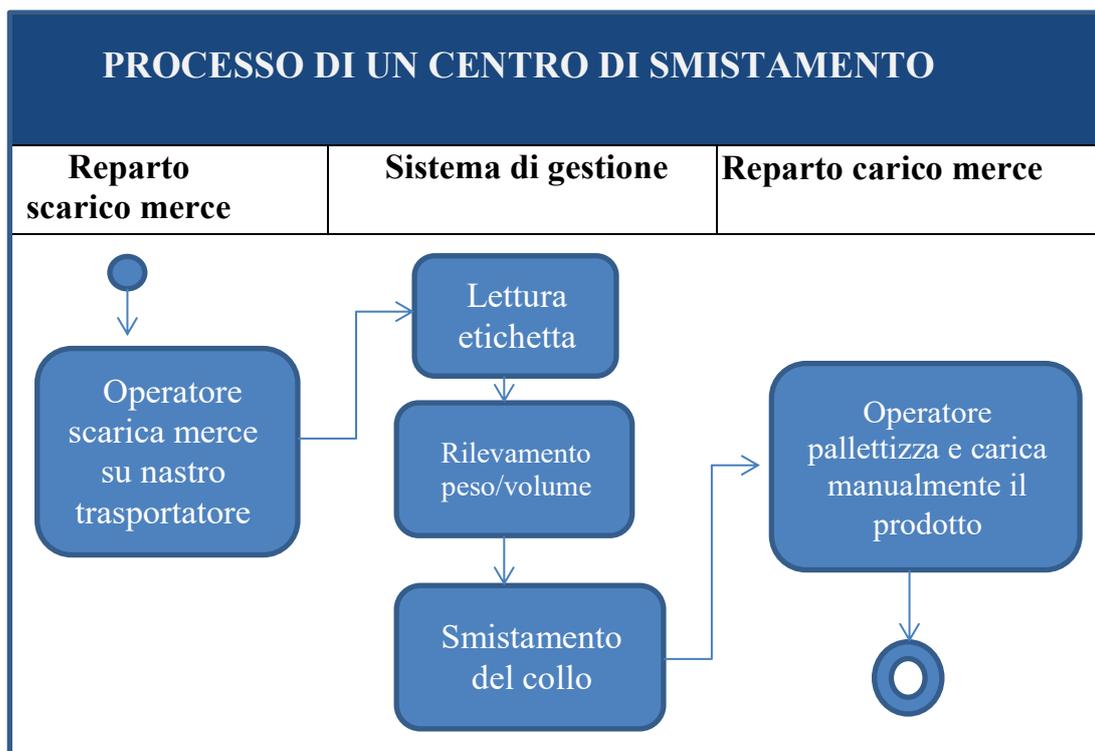


Figura 5.5: Processo di un centro smistamento

5.4.1 Sorting Center con la robotica collaborativa

Diversamente da oggi, il sorting center del futuro sarà operativo 24 ore su 24 per meglio allinearsi con il distribution center che lavorerà notte e giorno. Warehouse e sorting center robotizzati permetteranno di lavorare sull'ultimo turno come se fosse il primo per facilitare e soddisfare multiple spedizioni giornaliere al cliente finale. I prodotti saranno portati al sorting center da camion a guida autonoma. Questi camion arriveranno secondo specifici tempi e saranno capaci di muoversi intorno al deposito grazie all'aiuto del GPS. Quando il camion arriva nella stazione di scarico inizia il processo di smistamento (Figura 5.6) che attraverso uno o più cobot fissi effettueranno la parte di scarico. Nel caso un camion arrivasse con scatole danneggiate potrebbero essere portati in modo automatico dall'AGV nella zona dei prodotti che richiedono un repacking dove ci sarà un operatore. In corrispondenza dell'area di scarico potrebbe esserci una o più flotte di AGV che riceveranno il prodotto dal robot fisso e lo porteranno nell'area di carico di riferimento. Un robot mobile collaborativo presente sul camion di carico vedendosi arrivare un AGV con sopra il prodotto lo preleverà e lo depositerà nel camion.

Quindi il sorting center avrà un'area di scarico, un'area per la carica dei robot collaborativi mobili e degli AGV, un'area per il controllo delle flotte degli AGV e dei robot mobili collaborativi dove sarà presente un operatore che gestirà tutto il flusso, un'area per i pacchi danneggiati e varie zone di carico del prodotto in base alla destinazione e priorità dove avverrà l'interazione tra AGV e cobot mobile (DHL report, 2017).

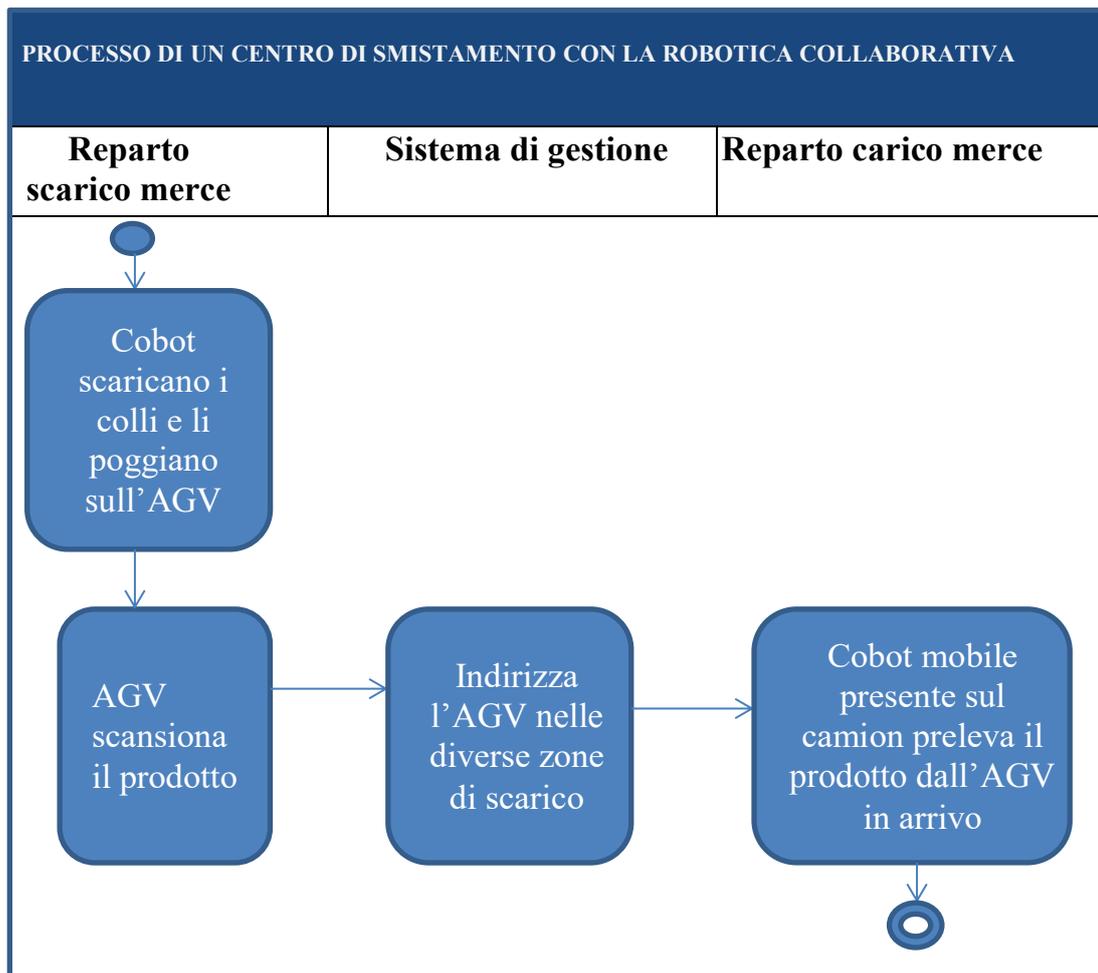


Figura 5.6: Processo di un centro di smistamento con la robotica collaborativa

CAPITOLO 6 Conclusioni

Nei capitoli precedenti si ha avuto modo di spiegare i vantaggi dell'utilizzo dei robot collaborativi nella logistica di stabilimento, portando esempi di applicazioni che spaziano da settori come quello dell'automotive a quello del settore alimentare. I benefici del lavoro di tesi sono stati molteplici in quanto da una prima descrizione delle caratteristiche tecniche dei vari modelli di robot collaborativi ed AGV si sono potuti classificare i vari modelli in base al tipo di applicazione. Tra le varie applicazioni che le aziende propongono quelle maggiormente richiesti dal cliente sono state il confezionamento, il picking, la pallettizzazione, la movimentazione dei materiali in quanto sono tutte applicazioni che riguardano la maggior parte dei settori.

Le limitazioni del lavoro di tesi sono dovute al fatto che non si è potuto toccare con mano le diverse applicazioni descritte in quanto frutto di video o riviste logistiche di aziende sia di piccole che di grandi dimensioni che hanno introdotto i robot collaborativi. Infatti la maggior parte del materiale è stato trovato su riviste scientifiche, cataloghi delle varie case produttrici. Un'altra limitazione del lavoro di tesi è stata quella di analizzare e proporre miglioramenti solo riguardo il funzionamento di un centro di distribuzione ed un centro di smistamento anziché ad esempio quello di una linea produttiva. Il motivo però è stato spiegato nel paragrafo 5.2 in quanto i robot per la logistica devono gestire un ampio numero di parti differenti in un numero infinito di combinazioni. Ad esempio le vendite online necessitano solitamente di raccogliere e confezionare i prodotti singolarmente e devono essere spediti separati e consegnati direttamente nelle case dei clienti. Una soluzione pratica potrebbe arrivare dall'utilizzo di robot durante tutte le varie fasi della catena logistica, dallo smistamento alla consegna della merce. Si potrebbero applicare robot per carico e scarico dei veicoli e dei container, operazioni che oggi, per le merci non pallettizzate, vengono realizzate quasi sempre manualmente.

Sulla base del lavoro svolto gli spunti di ricerca futuri potrebbero essere concentrati sulla modalità di automazione di un distribution center, di un

sorting center fino alla consegna del prodotto al cliente finale. L'attenzione sarà rivolta all'interazione continua tra AGV e robot mobile collaborativo all'interno di uno stabilimento che grazie a sistemi interconnessi garantirà piena flessibilità, velocità e accuratezza del prodotto lasciando all'operatore compiti di gestione dei flussi. Quindi all'interno di uno stabilimento sarà possibile trovare l'operatore nella "robotic control center", nell'area co-packing per personalizzare il prodotto insieme al robot collaborativo e nello spostamento di materiali pesanti con l'aiuto di esoscheletri. Un altro spunto di ricerca potrebbe essere quello di trovare e sviluppare, partendo dalle applicazioni descritte, altri tipi di applicazioni più specifiche in base al settore di riferimento in maniera tale da poter garantire ampia scelta al cliente in base al tipo di applicazione che desidera.

BIBLIOGRAFIA

Automazione-plus (2015), “YuMi è il primo robot a due bracci realmente collaborativo”, 15 Aprile, p.1.

Automazioneplus (2017), “Universal Robots Academy: l’e-learning per i robot collaborativi”, 6 Marzo, p.1.

Automazione-plus (2017), “Uomo e robot: collaborazione perfetta”, 1 Settembre, p.1.

Boston Consulting (2015), “Industry 4.0: The future of Productivity and growth in manufacturing industries”, 9 Aprile, p. 1

Calda M., Alessandrini V., 1988, Robotica - fondamenti e applicazioni, Gruppo editoriale Jackson.

Campbell, H., Masinga, P., Trimble, J.A., 2015, “A framework for human collaborative robots, operations in South African automotive Industry”, IEEE IIEEM, South Africa, pp. 1494-1497.

Camagni R., 1984, Il robot italiano - produzione e mercato della robotica industriale, Edizioni del Sole 24 Ore.

Chrysolouris, G., Guasch, T., Makris, S., Michalos, G. and Kontovrakis, D. (2015), “Design considerations for safe human-robot collaborative workplaces”, in *CIRPe 2015 – Understanding the life cycle implication of manufacturing, Spagna, 2015*, ScienceDirect, Granollers, pp. 248-253.

Corbetta C., (2017), “Dal cavo al robot, l’evoluzione dell’AGV”, Logisticnews, Maggio 2017, pp. 61-62.

Ciuti G., (2017), “Robotica collaborativa: robot al servizio dellavoratore, verso Industria 4.0”, Milano 10 Marzo 2017.

Dallari, (2017), “Leanindustry 4.0: l’automazione snella per la logistica del futuro”, Logisticnews, Aprile 2017, p.5.

Fryman, J. and Matthias, B. (2012), “Safety Of Industrial Robots: From Conventional to Collaborative Applications”, May 2012, Ladenburg, Germany, available at: <http://www.researchgate.net/publication/260730167> (accessed 10 February 2018).

Gerio, G.P., Parodi, F., (2017), “AURA: An example of collaborative robot for Automotive and General Industry applications”, in *27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing in Modena, Italy, 2017*, ScienceDirect, Torino, pp. 338-345.

Gerio, G.P., Pasquettaz, G., Torbazzi, F., Zanella, A., (2017), “La Collaborazione Uomo-Robot nella Fabbrica del futuro: nuove metodologie ed applicazioni”, in *Premio Innovazione 4.0 -Tematica Interazione uomo-robot., A&T 2017, Torino*.

Isidori A., 1986, *Il mondo dei robot - i protagonisti dell'automazione industriale*, Giunti Barbèra editore.

Logisticaneews (2016), “Robot collaborativo Yaskawa Motoman HC10”, 13 Dicembre, p.1.

Logisticaneews (2016), “AURA di COMAU trasforma un robot tradizionale in un robot collaborativo”, 15 Dicembre, p.1.

Logisticaneews (2017),”Leo Locative di Bitò: sistema di trasporto a guida ottica”, 3 Maggio, p.1

Logisticaneews (2017), “Gli AGV di Indeva collaborano con i robot”, 4 maggio, p.1.

Logisticaneews (2017),”MiR 100: AGV/Robot-Mobile user-friendly distribuito da Alumotion” , 5 Maggio, p.1.

Logisticaneews (2017), “Linde Robotics: i carrelli Linde diventano a guida automatica grazie all'integrazione con la tecnologia Balyo”, 8 Maggio, p.1.

Logisticaneews (2017), “Robot mobili LD di Omron”, 8 Maggio, p.1.

Logisticaneews (2017), “Sistema CarryPick di Swisslog: ideale per stoccaggio e picking merce all'uomo”, 8 Maggio, p.1.

Logisticaneews (2017), “Pallettizzare con i robot collaborativi”, 1 Giugno, p.1.

Logisticaneews (2017), “Più flessibilità con i robot collaborativi”, 1 Luglio, p.1.

Melchiorri C., 2002, Elementi di robotica, Università di Bologna - Dipartimento di elettronica industriale.

Minsky M., 1987, La robotica - il primo autorevole rapporto dalle frontiere dell'alta tecnologia, Longanesi & C. editore.

Morandotti L., (2017), "Lean Logistics, la via dell'efficienza", Maggio 2017, pp. 61-62.

Vette, M., Scholer, M. and Muller, R. (2014), "Inspector Robot – a new collaborative testing system designed for the automotive final assembly line", in *Conference on Assembly Technologies and Systems, Germania, 2014*, ScienceDirect, Saarbrücken, pp. 59-64.

Vicentini, F., 2017, "La robotica collaborativa", Tecniche Nuove, Milano.

SITOGRAFIA

(<http://new.abb.com/products/robotics/it/robot-industriali/yumi>)
(www.fanuc.eu/it/it/robot/robot-filter-page/robot-collaborativi)
(www.universal-robots.com/it/academy/)
(www.universal-robots.com/it/prodotti/robot-ur3/)
(www.universal-robots.com/it/prodotti/robot-ur10/)
(www.universal-robots.com/it/prodotti/robot-ur5/)
(www.yaskawa.eu.com/en/news-events/news/article/news/motoman-hc10-collaborative-robot-safe-and-flexible-interaction/)
(www.kuka.com/it-it/prodotti-servizi/sistemi-robot/robot-industriali/lbr-iiwa)
(<http://www.rethinkrobotics.com/sawyer/>)
(<http://www.rethinkrobotics.com/baxter/>)
(<http://www.alumotion.eu/marchi/mir/>)
(<https://www.bitocom.com/it-it/>)
(<http://www.indevagroup.it/>)
(<http://www.linde-mh.it/it/>)
(<https://omron.it/it/home>)
(www.swisslog.com/acpaq)
(www.swisslog.com/autopiqa)
(www.swisslog.com/carrypick)
(www.ibtimes.co.uk/panasonic-mass-produce-alien-style-robot-exoskeleton-suit-help-workers-heavy-lifting-1509593)
(www.biodesign.seas.harvard.edu/soft-exosuits)