

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

DIN – SETTORE IMPIANTI

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA GESTIONALE

TESI DI LAUREA

in

Servizi generali e sicurezza d'impianto M

*Comparazione e valutazione tecnico-economica di sistemi di
automazione per l'assemblaggio*

CANDIDATO

Gianluca Sofia

RELATORE

Chiar.mo Prof. Emilio Ferrari

CORRELATORE

Chiar.mo Prof. Vincenzo Parenti Castelli

Anno Accademico 2017/2018

Sessione III

INDICE

Introduzione	3
CAPITOLO 1 – L’AUTOMAZIONE NEI SISTEMI DI PRODUZIONE	4
1.1 <i>L’automazione</i>	5
1.2 <i>Il processo produttivo</i>	7
1.2.1 L’automazione dei processi produttivi.....	9
1.2.2 Il processo di produzione meccanica.....	13
1.2.3 Verso l’automazione totale.....	14
1.3 <i>I mezzi di uso comune</i>	15
1.3.1 L’integrazione totale.....	17
1.3.2 La scelta e la realizzazione di un <i>FMS</i>	22
1.4 <i>Il robot</i>	24
1.4.1 Il robot nel <i>CIM</i>	26
1.4.2 Classificazione dei robot.....	26
1.4.3 Lo stato attuale della robotica.....	30
CAPITOLO 2 – L’IMPIANTO AUTOMATICO DI ASSEMBLAGGIO	32
2.1 <i>L’azienda GT Line</i>	33
2.2 <i>Il prodotto: Explorer Cases</i>	33
2.3 <i>Il processo di produzione ed assemblaggio attuale</i>	39
CAPITOLO 3 – ANALISI TECNICA DELLE PROPOSTE INNOVATIVE	43
3.1 <i>Analisi tecnica proposta A</i>	44
3.2 <i>Analisi tecnica proposta B</i>	50
3.3 <i>Analisi tecnica proposta C</i>	59
CAPITOLO 4 – COMPARAZIONE E VALUTAZIONE TECNICO-ECONOMICA DELLE PROPOSTE EFFETTUATE	64
4.1 <i>Aspetti tecnici ed economici dell’attuale linea di produzione</i>	65
4.2 <i>Comparazione e valutazione tecnico-economica della proposta A</i>	71

4.3 <i>Comparazione e valutazione tecnico-economica della proposta B</i>	73
4.4 <i>Comparazione e valutazione tecnico-economica della proposta C</i>	76
Bibliografia	79

INTRODUZIONE

Il lavoro di tesi svolto ha come fine ultimo la comparazione e la valutazione, da un punto di vista sia tecnico che economico, di un sistema di automazione per l'assemblaggio: verrà analizzata la linea di produzione dell'azienda **GT Line**, in parte automatica ed in parte manuale, con particolare riferimento a quello che è l'attuale tempo ciclo ed ai costi (presunti) che sostiene annualmente l'azienda per far fronte alle lavorazioni. Tali valori saranno, poi, confrontati con quelli relativi ad alcune ipotesi d'innovazione, così da ricavare la soluzione ottimale che possa configurare un aumento della produzione, grazie a tempi ciclo più bassi, ed una conseguenziale riduzione dei costi, dopo l'investimento iniziale.

Nelle pagine seguenti verranno esposti alcuni concetti teorici, relativi allo sviluppo dell'automazione e della robotica all'interno di un sistema produttivo, seguiti da considerazioni di carattere pratico per spiegare il lavoro svolto. Verranno poste a confronto alcune soluzioni relative alle singole stazioni di lavoro, oltre ad alcune tipologie di manipolatori, per i quali saranno messi in evidenza pregi e difetti. Al termine dell'analisi, verranno evidenziati i costi relativi ad un'implementazione dell'attuale sistema di automazione, caso per caso, così che l'azienda possa, eventualmente, decidere se e quale adottare nell'immediato per i suoi scopi.

Verrà, inoltre, descritta brevemente l'azienda **GT Line**, con particolare riferimento ai prodotti oggetto di studio, alle caratteristiche degli stessi, agli standard qualitativi rispettati ed alle diverse stazioni di lavoro dell'attuale ciclo di produzione.

Successivamente, si entrerà nello specifico dell'attività di comparazione e valutazione, illustrando dettagliatamente il lavoro svolto, sia dal punto di vista concettuale che da quello tecnico.

Verrà rivolta, infine, una particolare attenzione agli obiettivi che l'attività svolta si pone di raggiungere, dopo aver spiegato i motivi che abbiano portato a tali scelte ed aver evidenziato i relativi costi da sostenere per perseguirli.

CAPITOLO 1 – L'AUTOMAZIONE NEI SISTEMI DI PRODUZIONE

1.1 L'automazione

Un processo produttivo può essere definito come una trasformazione fisica di materiali effettuata al fine di ottenere un prodotto desiderato: ogni processo produttivo, infatti, viene realizzato per questo scopo, grazie alla combinazione di tre ingredienti fondamentali (energia, informazione e controllo) che, sin dalla preistoria, hanno rappresentato caratteristiche proprie dell'uomo.

Lo sviluppo dei sistemi produttivi, nel corso dei secoli, è sempre stato volto alla eliminazione, totale o parziale, dell'intervento umano nei processi di erogazione e manipolazione dei tre ingredienti fondamentali citati, dal momento che erogare energia è dispendioso, talvolta pericoloso e non sempre se ne ha la quantità sufficiente immediatamente disponibile, mentre fornire controllo e gestire le informazioni non è sempre possibile per l'uomo in quanto esso potrebbe non avere le competenze necessarie o la precisione desiderata.

Analizzando il percorso che ha portato ad eliminare il più possibile la componente umana dai processi produttivi, è possibile evidenziare come i primi tentativi di far ciò fossero volti esclusivamente al dispensare l'uomo dal fornire l'energia necessaria alla lavorazione: pensiamo, ad esempio, allo sfruttamento, già nell'antichità, dell'energia animale per lo svolgimento dei lavori più gravosi, oppure all'utilizzo dell'energia eolica o idraulica dei mulini a vento oppure ad acqua. Tale processo di industrializzazione culmina nella rivoluzione industriale, quando i processi produttivi vengono caratterizzati dall'uso generalizzato di macchine azionate tramite potenza meccanica, ricavata da fonti energetiche naturali come i combustibili fossili.

Anche l'esigenza di dispensare l'uomo dalle operazioni di controllo e gestione delle informazioni è sempre stata oggetto di studio, soprattutto per quanto concerne quelle tipologie di lavoro che richiedevano particolare precisione o le cui azioni dovevano essere ripetute in maniera continuativa. Pensiamo, ad esempio, alla gestione delle informazioni riguardanti il tempo o la temperatura: già dall'antichità sono state trovate possibili soluzioni che non prevedessero la presenza umana per tali scopi, come l'orologio ad acqua di *Ctesibio*, di cui si riportano una rappresentazione grafica ed il relativo principio di funzionamento in *Figura 1* e *Figura 2*, oppure i primi termostati.

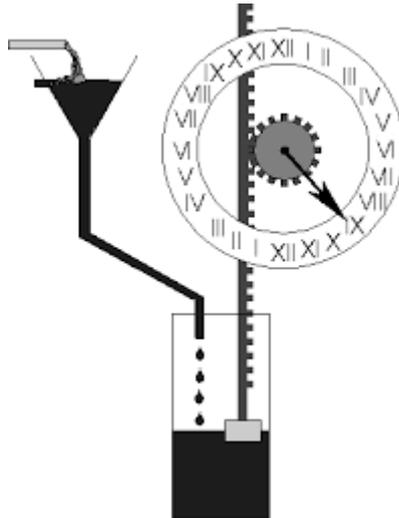


Figura 1 - Orologio ad acqua di Ctesibio

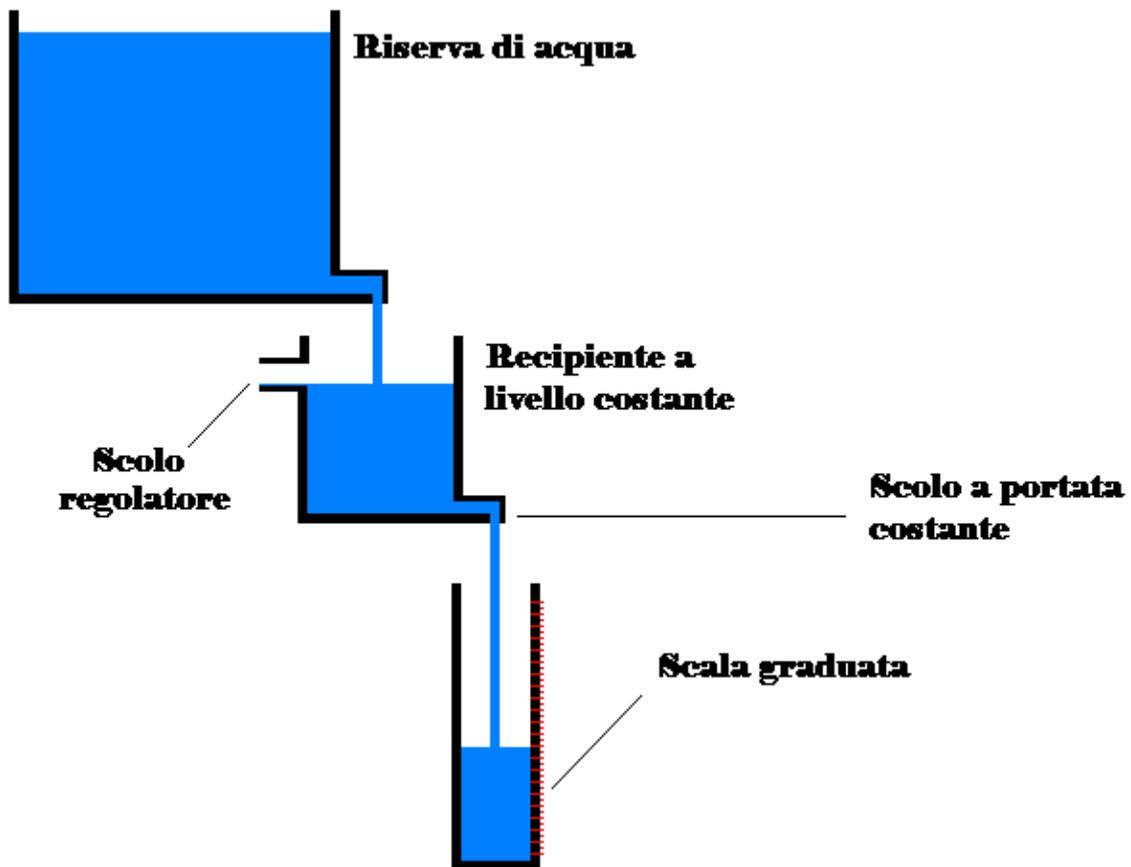


Figura 2 - Schema di funzionamento dell'orologio ad acqua di Ctesibio

L'esperienza maturata nello studio di automatismi ha, nel tempo, portato a formulare una teoria del controllo, che costituisce il nucleo dell'automatica, con lo scopo di definire l'azione più efficace da compiere sul processo al fine di ottenere da esso il risultato desiderato.

Dal 1947, poi, si inizia a parlare di automazione, termine usato per la prima volta alla *Ford Motor Company* per indicare l'insieme degli apparati di movimentazione automatica che erano stati installati nelle proprie linee di produzione. Da allora, tale termine si è largamente diffuso con il significato generico di impiego di macchine per pilotare altre macchine ed ha assunto un ruolo fondamentale all'interno dei processi di produzione industriale.

In conclusione, è possibile evidenziare quelli che sono gli aspetti principali che hanno contribuito allo sviluppo dell'automazione in campo industriale:

- far compiere lavori semplici e ripetitivi alle macchine senza l'intervento umano, con minori costi, maggiore affidabilità e con continuità temporale;
- far compiere in modo automatico operazioni che richiedono una precisione ed una velocità tali da risultare impossibili per un operatore umano;
- far compiere alle macchine operazioni che richiedono potenze così elevate che l'operatore umano non riuscirebbe a fornire;
- far compiere a macchine appositamente progettate operazioni pericolose in ambienti ostili per l'uomo;
- rispettare normative di sicurezza e sostenibilità ambientale.

Negli ultimi anni, il concetto di automazione industriale è stato esteso non solo alla produzione vera e propria, ma anche ai suoi sistemi di supporto, ovvero a tutti i processi di progettazione, organizzazione e gestione della produzione. Si inizia, così, a parlare di automazione industriale in senso più ampio, integrando i processi produttivi con i sistemi di automazione e con i sistemi informativi gestionali: tale processo prende il nome di *Computer Integrated Manufacturing (CIM)*.

1.2 Il processo produttivo

Il processo produttivo è un procedimento tecnico per realizzare un determinato prodotto: esso è composto da una sequenza di operazioni elementari necessari per convertire la materia di partenza nel prodotto finale desiderato. Tali operazioni possono essere di diversa tipologia:

- *operazioni di lavorazione;*
- *operazioni di assemblaggio;*
- *operazioni di trasporto e stoccaggio dei materiali;*

- *operazioni di test;*
- *operazioni di coordinamento e controllo.*

Le operazioni di lavorazione sono operazioni di trasformazione vera e propria in cui si usa energia meccanica, termica, chimica od elettrica per modificare le proprietà fisiche dei materiali; tale energia è convogliata sul materiale mediante l'ausilio di macchinari ed utensili che effettuano le manipolazioni necessarie.

Per ottenere il prodotto finale risulta, in generale, necessario unire, in maniera permanente o semipermanente, due o più parti così da formare un'unica entità: questo è lo scopo delle operazioni di assemblaggio.

Solitamente, le operazioni di lavorazione e di assemblaggio sono intramezzate da operazioni di trasporto e stoccaggio dei materiali. Tale fase è, in realtà, una delle più importanti del processo di produzione dal momento che, in molti casi, il tempo in cui i materiali sono movimentati o fermi in magazzino risulta maggiore di quello in cui i materiali sono lavorati: è, pertanto, necessario che tali operazioni siano realizzate nel modo più efficiente possibile.

Le operazioni di test sono volte alla verifica del prodotto finale e delle sue funzionalità, al fine di accertare se esso soddisfi gli standard e le specifiche imposte.

Tutte le operazioni elencate devono essere coordinate ed il più possibile automatizzate: proprio a tal fine vengono utilizzate le operazioni di coordinamento e controllo.

Il processo di produzione appena descritto viene realizzato mediante un'infrastruttura nota come sistema di produzione: con tale termine si indica l'insieme delle attrezzature, delle persone e delle procedure necessarie per eseguire le operazioni. Il sistema di produzione è costituito da due macro-livelli:

- 1) *impianto di produzione*, ovvero l'equipaggiamento fisico necessario alla produzione;
- 2) *sistema di supporto*, ovvero l'insieme delle procedure di organizzazione e gestione della produzione.

L'impianto di produzione è costituito dall'insieme di macchinari ed utensili che effettuano le trasformazioni, dai mezzi di trasporto dei materiali, dall'equipaggiamento necessario per il test e la verifica dei prodotti e dal sistema di controllo dell'impianto. L'impianto di produzione e la sua organizzazione sono fortemente influenzati, oltre che dal tipo di processo produttivo, anche dall'entità della produzione (numero di prodotti realizzati, solitamente, in un periodo di tempo di un anno) e dalla varietà della produzione (numero di tipologie di prodotti realizzati dall'impianto). Una classificazione dei sistemi produttivi, sulla base della quantità di prodotto annuo, può essere la seguente:

- *piccola produzione*, da 1 a 100 unità di prodotto annuali;
- *media produzione*, da 100 a 10000 unità di prodotto annuali;
- *grande produzione*, sopra le 10000 unità di prodotto annuali.

In generale, esiste una correlazione inversa tra l'entità della produzione e la sua varietà: solitamente, infatti, è possibile avere un'elevata varietà di prodotti solo se la quantità annua di prodotto è sufficientemente bassa.

Il sistema di supporto alla produzione include un insieme di attività di gestione delle informazioni legate alla produzione. Tali attività possono essere classificate in:

- *attività di business*, legate alla gestione degli ordini, al marketing, alla vendita, al bilancio, al budget, etc.;
- *attività di progettazione*, volte alla progettazione del processo di produzione sulla base delle esigenze del cliente;
- *attività di planning*, legate alla scelta delle sequenze di lavorazione ed assemblaggio, alle politiche di produzione e stoccaggio ed alle politiche di rifornimento materiali;
- *attività di controllo*, volte alla gestione e supervisione del processo di produzione, dei flussi di materiali ed alla qualità di processi e prodotti.

1.2.1 L'automazione dei processi produttivi

Per ottimizzare il processo produttivo, alcune attività di produzione e supporto sono automatizzate: l'automazione dell'impianto di produzione riguarda l'utilizzo di macchine automatiche, o robot industriali, per la lavorazione e l'assemblaggio delle parti, l'utilizzo di linee di trasporto o di sistemi a guida autonoma per la movimentazione e lo stoccaggio dei materiali e l'impiego di sistemi di controllo qualità automatici.

In generale, viene effettuata una distinzione tra *automazione rigida*, *programmabile e flessibile*, in base alla varietà del prodotto ed al volume di produzione, come mostrato in *Figura 3*:

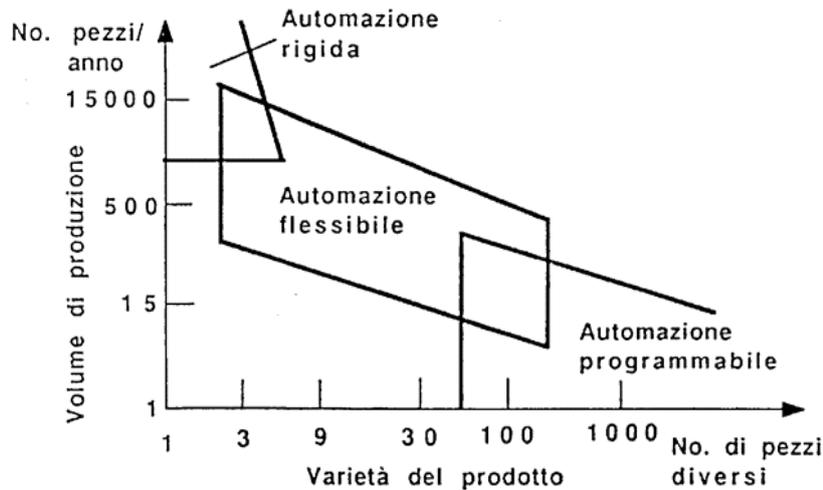


Figura 3 - Classificazione del sistema di automazione sulla base di volume di produzione e varietà del prodotto

Un sistema di *automazione rigida* è un sistema la cui sequenza delle operazioni di produzione è fissa: il processo di produzione è realizzato mediante la sequenza coordinata di una serie di operazioni elementari molto semplici. L'automazione rigida è impiegata quando il volume della produzione è molto elevato ed è, pertanto, opportuno progettare dispositivi specializzati per eseguire il trattamento di un prodotto o di un suo componente in modo efficace e veloce. Per eseguire le lavorazioni vengono prevalentemente utilizzate linee *a transfer* con numerose stazioni di lavoro: in tal caso, i costi elevati degli equipaggiamenti vengono ripartiti su un gran numero di pezzi, così che il costo unitario risulti essere più basso rispetto a metodi di produzione alternativi. L'automazione rigida presenta, tuttavia, due possibili rischi: il primo è costituito dal pericolo che la produzione risulti inferiore a quella inizialmente preventivata, con conseguenziale aumento dei costi unitari; il secondo è che, terminato il ciclo di vita del prodotto, le linee di lavorazione risultino obsolete (pertanto non è consigliabile per prodotti con ciclo di vita breve).

In un sistema di *automazione programmabile* è, invece, possibile cambiare la sequenza delle operazioni di produzione in modo da variare la configurazione finale del prodotto. Tale tipologia di automazione viene impiegata quando il volume di produzione è relativamente basso ed i prodotti da realizzare sono diversi: in tal caso, i mezzi produttivi vengono progettati in maniera tale da potersi adattare alle variazioni del tipo di prodotto. La caratteristica di *adattabilità* è ottenuta facendo lavorare la macchina sotto il "controllo" di un programma di istruzioni, preparato appositamente per un determinato prodotto: tale programma viene letto dalla macchina che, quindi, esegue la particolare sequenza di operazioni necessarie alla lavorazione od al montaggio del prodotto. Dal punto di vista economico, il costo dell'automazione programmabile può

essere ripartito su un gran numero di prodotti, anche se differenti, pertanto essa risulta indicata per la produzione a piccoli lotti.

L'*automazione flessibile*, infine, costituisce un esempio di automazione, adatta per volumi di produzione medi, in cui risulta possibile diversificare la produzione senza avere, però, tempi morti di conversione dell'impianto: ciò è possibile poiché le diverse varietà di prodotti finali sono tipicamente molto simili, con macchinari caratterizzati da un'alta configurabilità ed elevata flessibilità. I sistemi che utilizzano tale tipologia di automazione consistono in una serie di stazioni di lavoro, connesse tra loro da sistemi di manipolazione ed accumulo di materiale; un calcolatore centrale gestisce, poi, le varie attività che si svolgono all'interno del sistema, indirizzando le varie parti alle rispettive stazioni e controllando le operazioni programmate. Grazie a questa tipologia di automazione, è possibile lavorare prodotti differenti contemporaneamente e nello stesso sistema di lavorazione: tale caratteristica di versatilità, legata alla capacità del calcolatore di controllo, permette, di conseguenza, sia una produzione a lotti che una produzione singola di prodotti diversi.

Come già accennato precedentemente, un importante elemento di valutazione, nella scelta del tipo di automazione da sfruttare, è rappresentato dal costo unitario del prodotto in funzione del volume di produzione, come si può vedere in *Figura 4*:

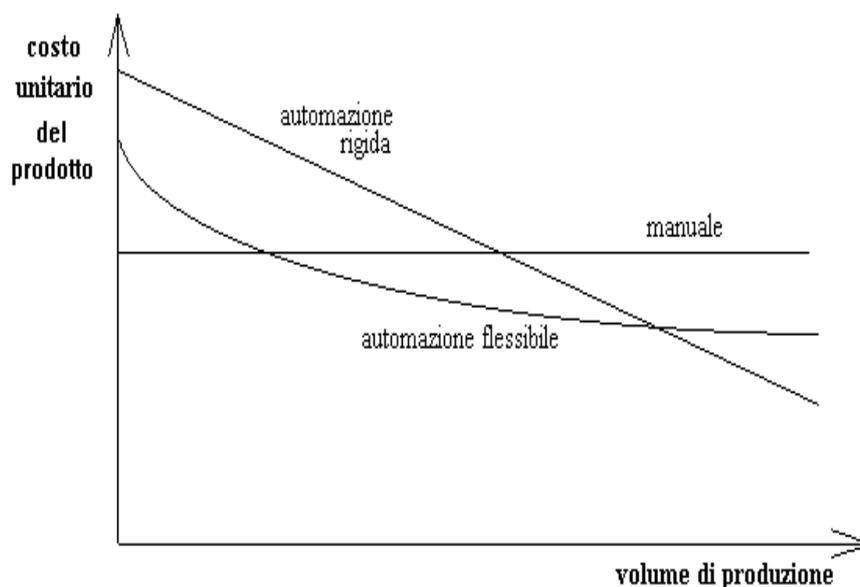


Figura 4 - Classificazione del sistema di automazione in relazione al costo unitario del prodotto ed al volume di produzione

Fra i tre tipi di automazione illustrati, quella programmabile si identifica maggiormente con la robotica. Un *robot* industriale costituisce una macchina programmabile, di impiego generale, che possiede alcune caratteristiche antropomorfe, le più tipiche delle quali, attualmente, sono rappresentate dalle braccia mobili: il robot può essere programmato per spostare il suo braccio con una sequenza di movimenti atti a svolgere qualche compito utile; esso ripeterà tale sequenza finché non sarà riprogrammato per svolgere un nuovo compito. Tale caratteristica di programmabilità consente di usare il robot per una varietà di operazioni industriali diverse (carico-scarico macchine, saldatura per punti, verniciatura a spruzzo, etc.).

Il tempo utilizzato per la lavorazione vera e propria del prodotto rappresenta una percentuale modestissima del tempo di produzione del prodotto stesso: è, quindi, evidente quanto sia importante, ai fini della produttività, ottenere un accorciamento dei tempi nelle fasi che maggiormente rallentano il ritmo di produzione. Utilizzando un robot programmato opportunamente con funzioni di movimentazione e magazzino o posizionamento pezzi, si può ottenere un miglioramento dei tempi “non produttivi”, cioè di non lavorazione effettiva del pezzo, nella produzione tradizionale.

Nonostante i robot siano un esempio di automazione programmabile, essi vengono, talvolta, usati nei sistemi ad automazione flessibile o finanche rigida: tali sistemi sono costituiti da macchine diverse e/o robot che lavorano assieme sotto il controllo di un computer o di un controllore programmabile (*Figura 5*).

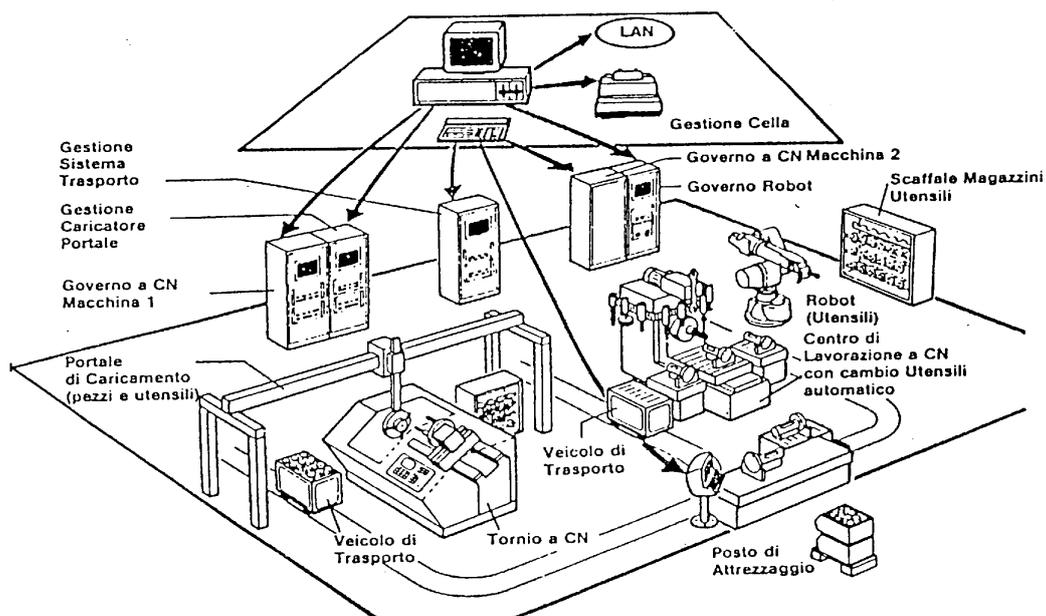


Figura 5 - Esempio di sistema ad automazione flessibile

1.2.2 Il processo di produzione meccanica

La fabbricazione meccanica, intesa come processo che, dall'idea imprenditoriale, dalla domanda implicita ed esplicita del mercato, dai materiali grezzi, conduce al prodotto finito, può essere sintetizzata dal flusso in *Figura 6*:

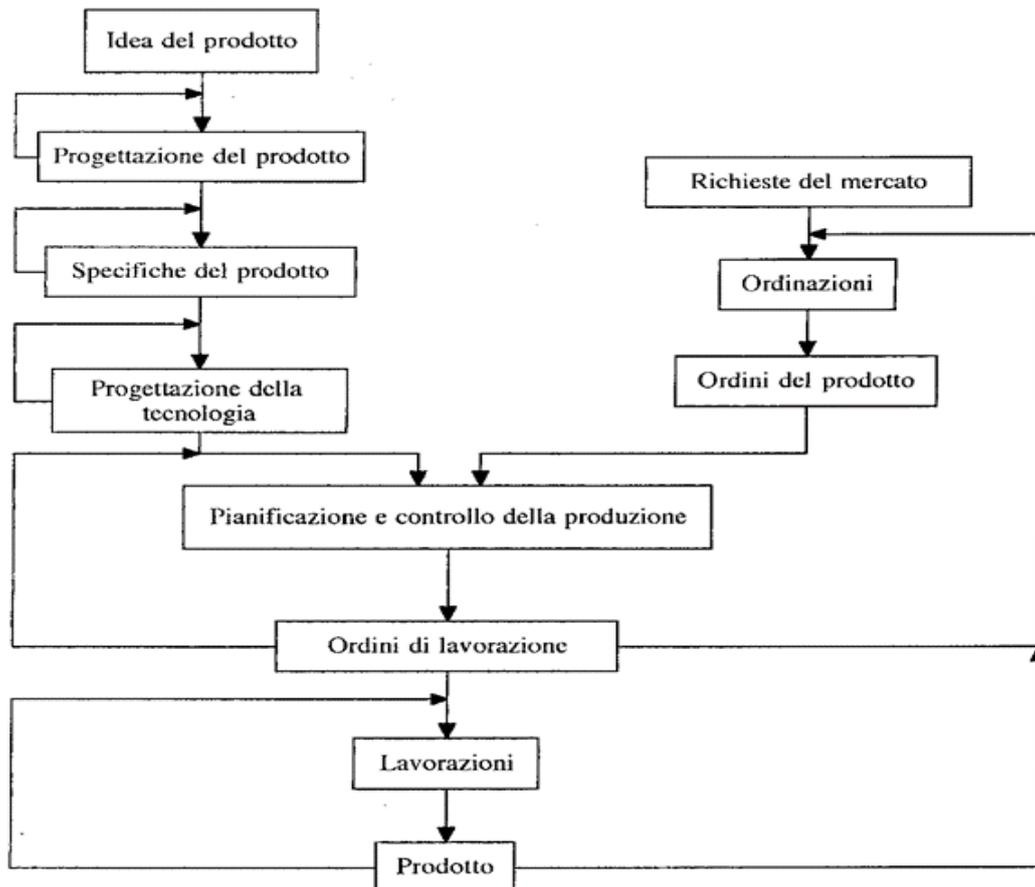


Figura 6 – Flusso processo di produzione meccanica

Gli aspetti qualitativi del prodotto sono sottoposti ad un controllo di qualità, con eventuali reazioni sul progetto del prodotto e della tecnologia, sull'acquisizione dei materiali e sulle lavorazioni.

Il controllo dei dati quantitativi, per limitare e compensare gli scostamenti rispetto ai dati programmati, comporta reazioni a vari livelli: innanzitutto sulle macchine e sulle risorse disponibili, in seguito sulla pianificazione della produzione, quindi sulla progettazione delle tecnologie, poi sulla progettazione del prodotto e, infine, sull'acquisizione di ordini.

Un sistema di fabbricazione meccanica comprende le funzioni descritte in *Figura 6*, caratterizzandosi, in modo diverso, a seconda del contesto economico-produttivo in cui

si inserisce. Una prima distinzione che può essere fatta, è quella fra prodotto *di serie* (ad esempio automobili od elettrodomestici) e prodotto *non di serie* (ad esempio gruppo turbina-alternatore, aeroplani); un'altra distinzione, invece, può essere quella tra prodotto *integrato* (automobile, aeroplano) e prodotto *componente* (flange, motori elettrici).

Nell'analisi del processo di produzione si possono individuare alcune "*fasi operative*", ovvero quelle in cui si devono svolgere una serie di calcoli e di operazioni per ottimizzare il processo sia dal punto di vista della qualità del prodotto, che dal punto di vista della quantità, in particolar modo dei tempi di produzione.

La prima fase è quella della *progettazione del prodotto*, che consta di tutte quelle sottofasi riguardanti l'idea di massima del prodotto: concezione, calcoli, disegno di insieme e dei particolari, distinta base.

La fase successiva è quella della *progettazione della tecnologia*, in cui vengono evidenziati tutti i parametri utili ai fini della lavorazione: ciclo di lavorazione, metodo di lavorazione, attrezzi impiegabili, utensili impiegabili, programma macchina, tempo di preparazione, tempo di lavorazione.

Si ha, poi, la fase di *pianificazione e controllo della produzione*, in cui si passa allo studio della lavorazione effettiva: verifica dei carichi di lavoro per ogni centro di lavorazione, livellamento dei carichi di lavoro, schedulazione e creazione dei programmi di lavoro, lancio e controllo della produzione.

Infine, abbiamo la fase di *lavorazione vera e propria*, in cui essa viene studiata in maniera più approfondita in tutti i suoi aspetti peculiari: gestione magazzini, gestione trasporti e movimentazione, trattamenti termici, collaudo, assemblaggio, spedizione.

1.2.3 Verso l'automazione totale

Diversi sono gli elementi che spingono verso un ruolo sempre più predominante dell'automazione:

- *aumento della produttività*, cioè un maggior numero di prodotti per unità di tempo/lavoro impiegato, nonché una migliore qualità ed uniformità dei beni prodotti;
- *elevato costo della manodopera*: nelle società industrializzate, infatti, il costo del lavoro è in continua crescita e, pertanto, risultano essere economicamente accettabili anche alti investimenti per sostituire le operazioni manuali; dal momento che le macchine consentono una produzione oraria maggiore rispetto a quella umana, l'automazione consente una diminuzione dei costi per unità di prodotto;

- tendenza allo spostamento di attività lavorative verso il settore dei *servizi*;
- *elevato costo dei materiali grezzi*, che comporta la necessità di utilizzarli con elevata efficienza: la riduzione degli scarti rappresenta, infatti, un beneficio della automazione, così come la riduzione delle scorte. Queste ultime incidono significativamente negli investimenti di capitale e possono essere ridotte al minimo anche grazie ad un sistema di automazione, in quanto si riducono i tempi in cui una parte resta nella fabbrica, portando, di conseguenza, anche una contrazione dei tempi di consegna;
- *maggiore sicurezza per i lavoratori*, dato il più limitato contatto fisico con i processi;
- crescita dell'industria dell'automazione che fornirà, di per sé, *nuove possibilità di impiego* per professionisti del settore.

Tuttavia, esistono anche degli elementi in contrasto con la spinta verso l'automazione:

- per alcuni c'è il rischio che l'automazione possa provocare la sottomissione dell'uomo alla macchina, ovvero che il lavoro umano venga degradato dall'automazione in termini di qualità, dal momento che l'automazione tende a trasferire abilità dall'uomo alla macchina;
- ci sarà una riduzione della forza lavoro e, conseguentemente, aumento della disoccupazione, dato che l'automazione comporta una diminuzione del fabbisogno di lavoro manuale: l'aumento di produttività dovuto all'automazione non sarà compensato dalla creazione di nuove professioni;
- c'è, infine, un rischio che ha costituito uno spunto importante per molti racconti fantascientifici: vengono delegate alle macchine funzioni di sempre maggiore "intelligenza" e responsabilità; sempre più complessi ed ingovernabili, i robot saranno un giorno in grado di sottomettere lo stesso uomo che li ha creati.

1.3 I mezzi di uso comune

Nella zona dell'*assemblaggio* i moduli che possono essere individuati sono le postazioni manuali e le stazioni automatiche di lavoro. Queste ultime si suddividono in:

- *stazioni di montaggio dedicate*, realizzate per dare soluzione ad uno specifico problema di montaggio;
- *stazioni di montaggio flessibile*, tipicamente realizzate attraverso l'utilizzo di robot specializzati per il montaggio. Questi tipi di robot sono in grado di spostare parti nello spazio relativo al loro campo di lavoro con elevata precisione e velocità e secondo sequenze spaziali e temporali liberamente programmabili e attivabili. I robot per il montaggio possono avere diversi tipi

di struttura, a seconda delle precisioni, dei campi di lavoro richiesti, della complicazione dei lavori da svolgere. Un tipo di struttura ampiamente diffusa, particolarmente nelle applicazioni più impegnative, è quella cartesiana con controllo numerico di tre assi lineari, cui può aggiungersi quello di uno o due assi rotativi del polso. Un altro tipo di struttura utilizzato nei robot di montaggio è quella articolata cilindrica o di tipo *Scara*, nella quale generalmente si hanno tre assi rotativi a controllo numerico. Questo tipo di robot è più semplice e meno costoso di quello cartesiano, ma ha minori prestazioni in termini di volume di lavoro e precisione. In una situazione di montaggio flessibile possono essere anche utilizzati due o tre robot, che possono lavorare sul pezzo in congiunzione con altri dispositivi.

In *Figura 7* vengono riportate alcune architetture tipiche dei manipolatori cui si è fatto cenno:

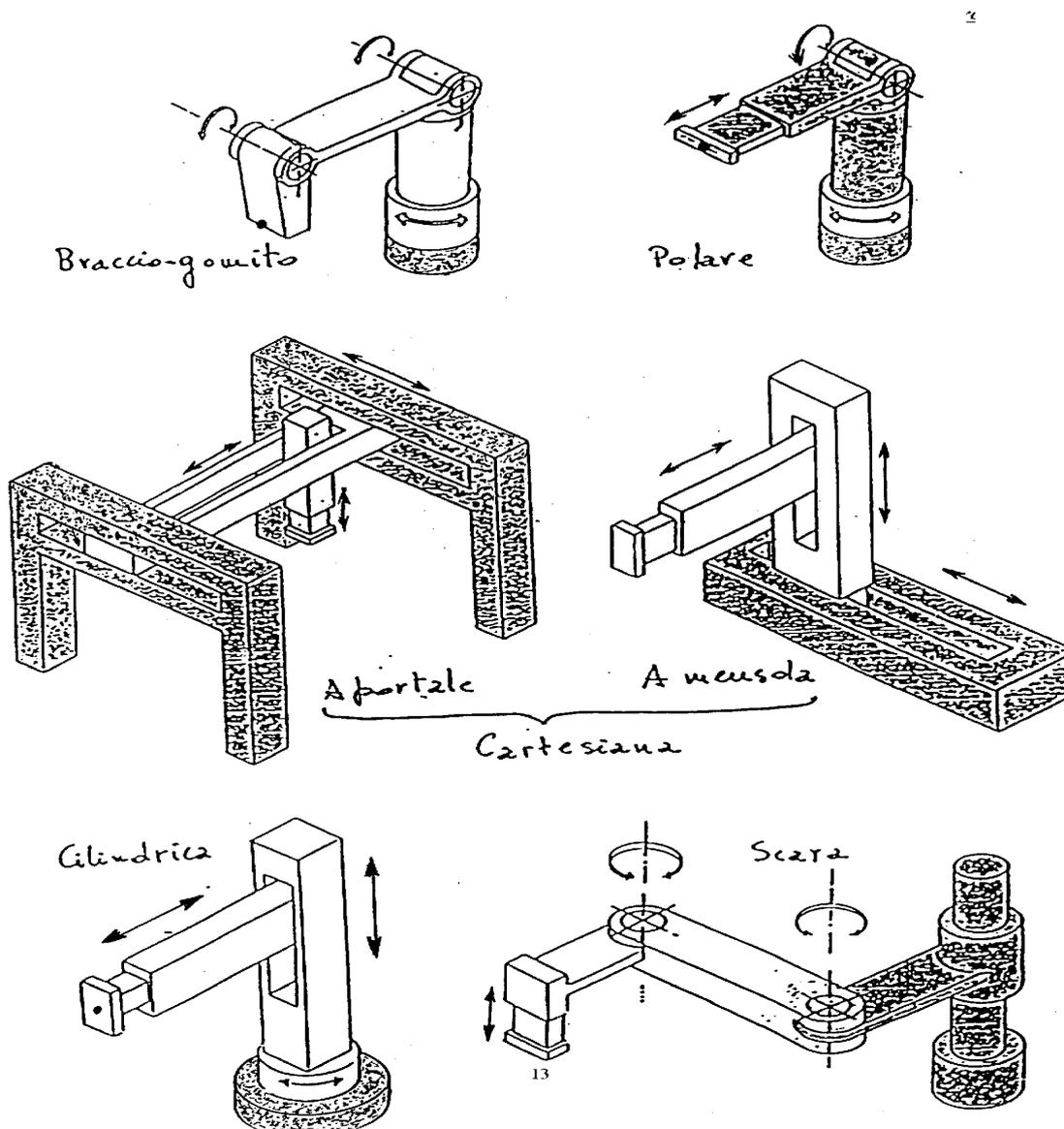


Figura 7 - Esempi tipici di manipolatori

I principali mezzi utilizzati, invece, nel trasporto e nella manipolazione sono:

- *robot*;
- *magazzini automatici*;
- *carrelli automatici*;
- *convogliatori*.

I mezzi impiegati, infine, per l'automazione, sono sostanzialmente quattro:

- *integrazione totale*;
- *architettura multiprocessore*;
- *data base*;
- *approccio sistemistico*.

Ai fini di tale trattazione, verrà approfondito, esclusivamente, il discorso relativo al primo aspetto, ovvero quello dell'integrazione totale. Questo poichè la tendenza della maggior parte delle aziende, al giorno d'oggi, è quella di andare verso la fabbrica automatica, ovvero di costruire i macchinari "attorno al pezzo": il pezzo, quindi, non viaggia più da un reparto ad un altro come avviene negli impianti tradizionali, in particolare nelle disposizioni a processo oppure a flusso.

1.3.1 L'integrazione totale

Il fine ultimo dell'automazione totale consiste nella creazione di un sistema di fabbricazione automatico, flessibile ed integrato. La fabbricazione consiste nel complesso di attività che parte dall'idea del prodotto per giungere al prodotto finito: tale definizione fa rientrare, nell'area della fabbricazione, le attività di progettazione del prodotto e della sua tecnologia.

L'**automazione** è il processo con cui si tende a sostituire l'attività fisica ed intellettuale dell'uomo con altri mezzi, al fine di ridurre il coinvolgimento diretto. L'automazione può essere realizzata a diversi livelli di completezza e, inoltre, tende ad attraversare verticalmente tutte le attività in cui può essere disaggregata la fabbricazione.

La **flessibilità** rappresenta, invece, la componente intrinseca di un sistema o sottosistema di fabbricazione, che permette di reagire e di adattarsi al mutamento delle condizioni esterne.

L'**integrazione** fra due sistemi o sottosistemi è data, infine, dalla completezza ed efficacia del collegamento tra essi esistente.

L'integrazione può avvenire secondo diversi punti di vista, che verranno di seguito esaminati:

Integrazione di funzioni a livello della macchina

A livello della macchina, vengono integrate le seguenti funzioni principali:

- cambio del pezzo in lavorazione;
- cambio e gestione degli utensili;
- verifiche dimensionali *in process*;
- controllo della potenza assorbita e dell'avanzamento in lavorazione;
- gestione dei servizi ausiliari;
- selezione ed attivazione di uno specifico programma;
- gestione di un magazzino o di un buffer di parti da lavorare.

Integrazione di più macchine da un punto di vista delle informazioni

L'elaborazione e la trasmissione delle informazioni di un sistema di produzione sono, normalmente, strutturate in modo gerarchico. La gerarchia è strettamente correlata con il tipo di produzione e di organizzazione che definisce la natura delle varie funzioni ed il livello in cui esse sono collocate.

Quattro sono i livelli gerarchici considerati e riguardano rispettivamente:

- 1) *livello di stabilimento*;
- 2) *livello Flexible Manufacturing System (FMS) alto*;
- 3) *livello FMS medio*;
- 4) *livello FMS basso*.

Il *livello di stabilimento* comprende tutte quelle funzioni che riguardano l'intero stabilimento:

- a) la pianificazione del fabbisogno materiale necessario allo stabilimento;
- b) la pianificazione della produzione all'interno dello stabilimento;
- c) la gestione del data base e delle informazioni presenti all'interno dello stabilimento.

Al *livello FMS alto* competono tutte quelle funzioni, riguardanti il singolo sistema:

- d) decisioni strategiche per la gestione del sistema;
- e) valutazione delle prestazioni del sistema (attraverso modelli e simulazioni);
- f) generazione e gestione di informazioni di supporto per il sistema (ad esempio programmi per macchine a controllo numerico).

Al *livello FMS medio* competono, invece, le funzioni di supporto per la programmazione di piani di brevissimo orizzonte (alcuni giorni o settimane); tali funzioni consistono in:

- g) suddivisione del target di produzione in più lotti di parti;
- h) assegnazione delle risorse ai lotti, in funzione del bilanciamento dei carichi, da verificare eventualmente anche attraverso simulazioni;
- i) reazione ai cambiamenti del programma di produzione, provenienti dai livelli superiori o causati da condizionamenti di disponibilità di materiali o di macchine.

Il *livello FMS basso* riguarda, infine, le funzioni in tempo reale del *FMS*, ovvero:

- j) schedulazione e rilascio dell'ordine di lavoro (ordine temporale delle parti da lavorare);
- k) movimenti delle parti interessate al sistema, distribuzione dei dati e gestione degli utensili;
- l) monitoraggio e diagnostica;
- m) risposta ai malfunzionamenti.

Integrazione di più macchine ed unità dal punto di vista del trasporto dei pezzi in lavoro

Come già detto, si utilizzano convogliatori, carrelli automatici e robot: questi ultimi sono impiegati, prevalentemente, per la movimentazione di parti di peso relativamente ridotto in spazi relativamente ristretti. Dal momento che, in termini di prestazione e costi, non sempre il tipo di lavorazione giustifica l'impiego di tali macchine, l'utilizzo di queste tipologie di manipolatori è legato a sistemi rigidi o scarsamente flessibili, in cui, cioè, il passaggio di un particolare pezzo, da una lavorazione ad un'altra, richiede l'arresto e la riprogrammazione del sistema.

Integrazione di più macchine ed unità dal punto di vista della gestione e del trasporto degli utensili

Le funzioni che entrano in gioco nella gestione e nel trasporto degli utensili sono le seguenti:

- selezione e preparazione degli utensili: ad ogni pezzo da lavorare corrisponde una determinata lista di utensili, con caratteristiche dimensionali e di registrazione ben definite, il cui trasporto fisico può avvenire o manualmente o in maniera automatica;
- gestione degli utensili in macchina: le macchine utensili possono effettuare, a livello di controllo numerico, diverse verifiche di parametri correlati alle caratteristiche attuali dell'utensile (possono, cioè, essere intraprese azioni correttive all'interno della macchina, come, ad esempio, la riduzione della velocità di avanzamento o la sostituzione dell'utensile con uno equivalente);

- gestione degli utensili fuori macchina: qualora la macchina utilizzi un sistema integrato di gestione e trasporto degli utensili fuori macchina, la richiesta di sostituzione di un utensile equivalente può essere effettuato con l'ausilio di un robot cartesiano, contenente, nel suo volume di lavoro, le aree del magazzino utensili e della macchina.

Integrazione della generazione delle specifiche tecniche di produzione (CAM), delle specifiche tecniche di progettazione (CAD) e dei programmi di produzione (PP&C)

Con il termine **CAM (Computer Aided Manufacturing)** vengono indicate tutte quelle attività relative alla progettazione della tecnologia di fabbricazione, ovvero: cicli di lavorazione, metodi, utensili, attrezzi, programmi macchina, tempi di preparazione e lavorazione. Le attività del CAM sono, sostanzialmente, di due diverse tipologie: pianificazione del processo e preparazione dei programmi macchina.

Il **CAD (Computer Aided Design)** comprende le attività relative alla progettazione del prodotto, materializzata grazie ai disegni d'insieme, a quelli dei particolari ed ai calcoli (come visibile in *Figura 8*):

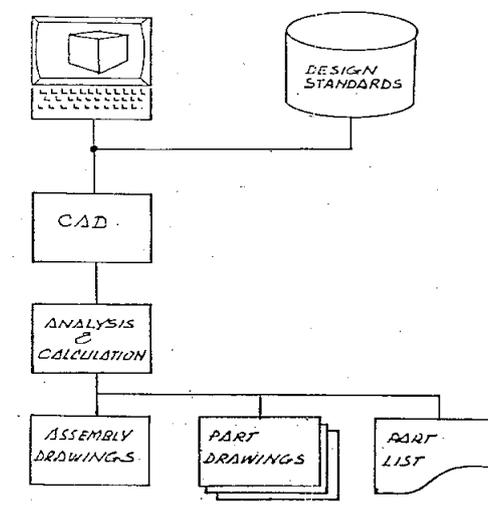


Figura 8 - Struttura funzionale di un sistema di progettazione meccanica

L'**integrazione CAD/CAM** è nata in seguito allo sviluppo ed alla diffusione della tecnologia CAD: per sfruttare tutti i vantaggi possibili delle due tecnologie, risulta necessario, infatti, in primo luogo realizzare una corretta "saldatura" tra l'uscita della progettazione del prodotto e l'ingresso nella progettazione della tecnologia e, in

secondo luogo, integrare, nella progettazione della tecnologia, alcuni dei mezzi e delle tecniche di base utilizzati nella progettazione del prodotto. Per comprendere meglio quanto detto, nella *Figura 9* viene schematizzata la struttura funzionale di un sistema integrato CAD/CAM:

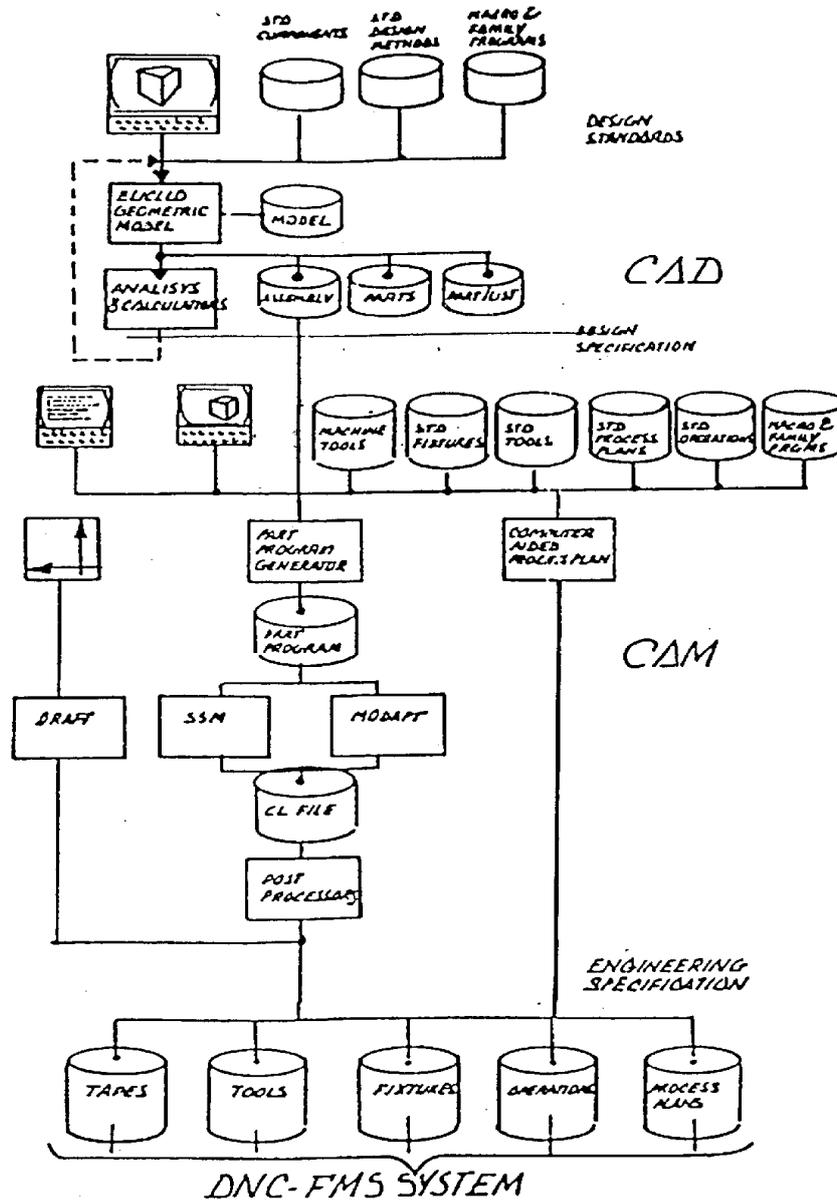


Figura 9 - Struttura funzionale di un sistema integrato CAD/CAM

I programmi di produzione e controllo (*PP&C*) comprendono, infine, tutte le attività di pianificazione e controllo della produzione, nella quale entrano in gioco, da un lato gli ordini del prodotto, dall'altro le specifiche del prodotto e della produzione. Il tutto può essere schematizzato, come in *Figura 10*:

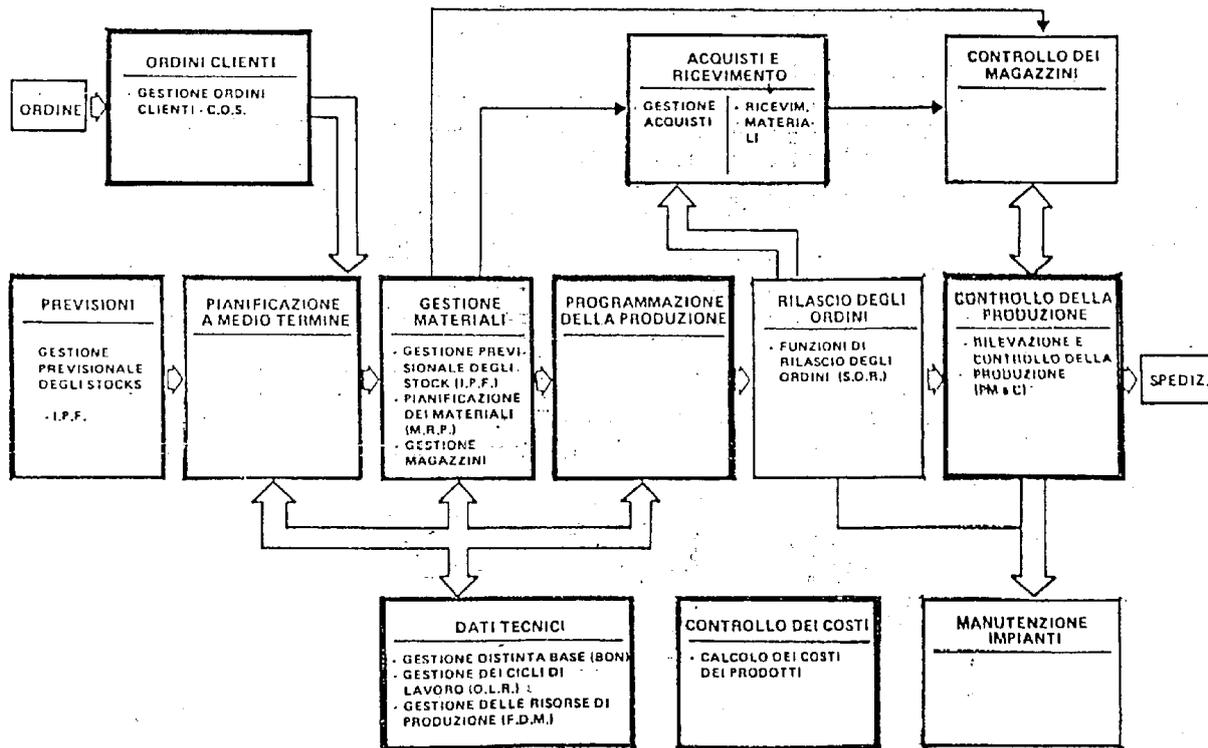


Figura 10 - Processo di pianificazione e controllo

1.3.2 La scelta e la realizzazione di un FMS

I *sistemi di fabbricazione flessibile (FMS)* rappresentano un nuovo modo di concepire l'intera organizzazione del processo produttivo per rispondere, in maniera adeguata, alle esigenze di un mercato estremamente dinamico, che obbliga la produzione ad una sempre maggiore flessibilità e, contemporaneamente, richiede maggior redditività delle apparecchiature; questi problemi sono risolvibili con l'applicazione di un *FMS*.

Gli *obiettivi* che portano ad introdurre gli *FMS* sono, sostanzialmente, i seguenti:

- *diminuzione dei tempi di consegna;*
- *diminuzione del lavoro in corso;*
- *diminuzione dei costi di produzione* (conseguente aumento del livello di utilizzazione dell'impianto);
- *riduzione della manodopera diretta ed indiretta;*
- *maggiore flessibilità nell'utilizzo dell'impianto di fronte alle modifiche dei prodotti.*

Gli obiettivi indicati al punto precedente vanno valutati e definiti in funzione del prodotto, sia attuale che futuro, secondo i piani dell'azienda; le valutazioni sono da effettuare con un orizzonte temporale di almeno 5 anni, con ulteriori estrapolazioni.

Alla base della *selezione delle parti da trattare* in un *FMS* vi è la suddivisione delle stesse secondo famiglie di pezzi: i criteri di scelta di tali famiglie tengono conto di vari aspetti, tra i quali vanno annoverati il costo della parte e la variabilità del disegno, sia relativamente ad eventuali modifiche che per l'adattamento del prodotto al mercato.

Il *ciclo di lavorazione* delle famiglie di pezzi da trattare in un *FMS* tiene conto delle tecnologie ritenute ottimali nel caso specifico e delle macchine più adatte ad operare nel contesto di automazione previsto.

Tutti i dati tecnologici che definiscono la lavorazione delle parti serviranno alla individuazione delle caratteristiche di dettaglio delle varie macchine che costituiscono l'impianto. Le valutazioni devono essere effettuate non solo per le macchine per le quali c'è una tradizione (macchine utensili ad asportazione di truciolo a controllo numerico), ma anche per le macchine più atipiche (macchine speciali, robot di misura, etc.).

Il *sottosistema di manipolazione e trasporto pezzi* può essere particolarmente critico per un buon utilizzo di un *FMS*, per cui sono opportune accurate verifiche sulla sua efficienza. Possono essere usati: robot di manipolazione di tipo articolato e di tipo lineare, magazzino automatico con navetta di trasporto pallet, convogliatori motorizzati.

Il *layout del sistema* viene definito in funzione dei cicli di lavorazione, delle macchine, dei dispositivi di manipolazione e trasporto pezzi, degli obiettivi di flessibilità, dello spazio disponibile. Notevoli rischi possono presentare i sistemi *FMS* ad approccio graduale o per moduli: infatti si possono verificare delle inefficienze del sistema che permangono fino al completamento dello stesso od anche dei ritardi nel manifestarsi dei benefici fino al momento in cui tutto il sistema funziona; per tali motivi, il sistema di controllo ed il software sono riconosciuti come le principali cause di problemi nelle installazioni di *FMS*.

Il *sistema di controllo* esplica due ordini di funzioni:

- definizione del programma di produzione mediante modulo *software* di programmazione e schedulazione;
- gestione di unità operative con trasmissione automatica di programmi macchina e dati relativi ad utensili utilizzati.

La struttura *hardware*, invece, si compone di un calcolatore principale e di un dispositivo per la distribuzione e raccolta dati.

Un *modello di simulazione* consente di tenere conto dei parametri operativi delle varie unità (ad es. macchine utensili, sistemi di trasporto, etc.) per produrre dati significativi relativi alla produzione, come, ad esempio, capacità produttiva e tempi di attraversamento delle parti, e per poter, perciò, individuare eventuali "colli di bottiglia" del sistema e le strategie alternative da attivare.

Un sistema *FMS* ha una forte *giustificazione economica*, in quanto consente una diminuzione dei costi di produzione, una maggiore flessibilità di utilizzazione dello impianto ed una diminuzione del lavoro in corso e delle scorte di magazzino.

La *realizzazione* di un sistema *FMS* richiede un'accurata pianificazione delle attività e dei compiti. Per la realizzazione pratica e per quanto concerne l'assegnazione dei compiti per l'utilizzatore finale ci sono varie possibilità:

- comprare tutto il sistema “chiavi in mano” da un fornitore;
- costituire un gruppo di coordinamento del progetto limitato ma competente (3-4 persone) ed acquistare il sistema suddividendo la fornitura in alcuni sottosistemi ben definiti;
- costituire un grande gruppo di progettazione ed assumere la completa responsabilità del progetto, che viene realizzato attraverso l'acquisto e la realizzazione di piccole parti.

L'approccio più interessante sembra essere il secondo, se si tiene conto del fatto che un sistema *FMS* deve essere fin dall'inizio pensato in termini ampi, integrati e definitivi.

1.4 Il robot

Un *robot industriale* è un *manipolatore* multifunzionale, programmabile, con più gradi di libertà (controllati in posizione, velocità e accelerazione), capace di maneggiare, durante la lavorazione, pezzi, utensili e quant'altro necessario, mediante spostamenti programmati e ripetitivi.

Il robot è generalmente inserito in un'*isola automatizzata*. Essa, tuttavia, non costituisce un mondo autosufficiente, ma è, in generale, solo un anello di una più completa linea di produzione e, comunque, richiede almeno l'entrata del materiale da trattare e l'uscita del materiale trattato; per alimentare l'isola si utilizzano, solitamente, dei nastri trasportatori, dei carrelli filoguidati oppure dei sistemi a rotaia.

Nelle *Figure 11, 12, 13*, vengono riportati alcuni esempi di linee di montaggio o stazioni di lavoro in cui sono inseriti dei robot:

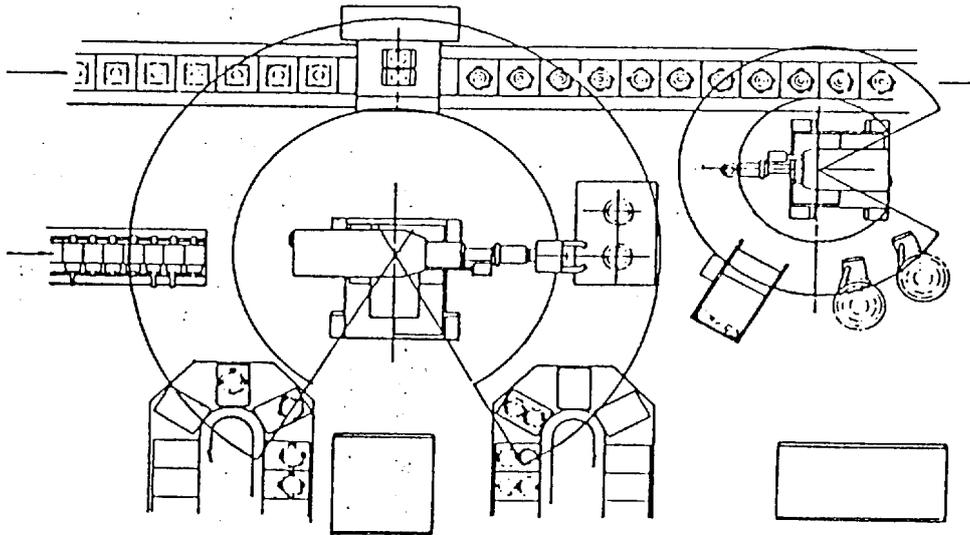


Figura 11 - Tipica cella FMS con robot fisso al centro

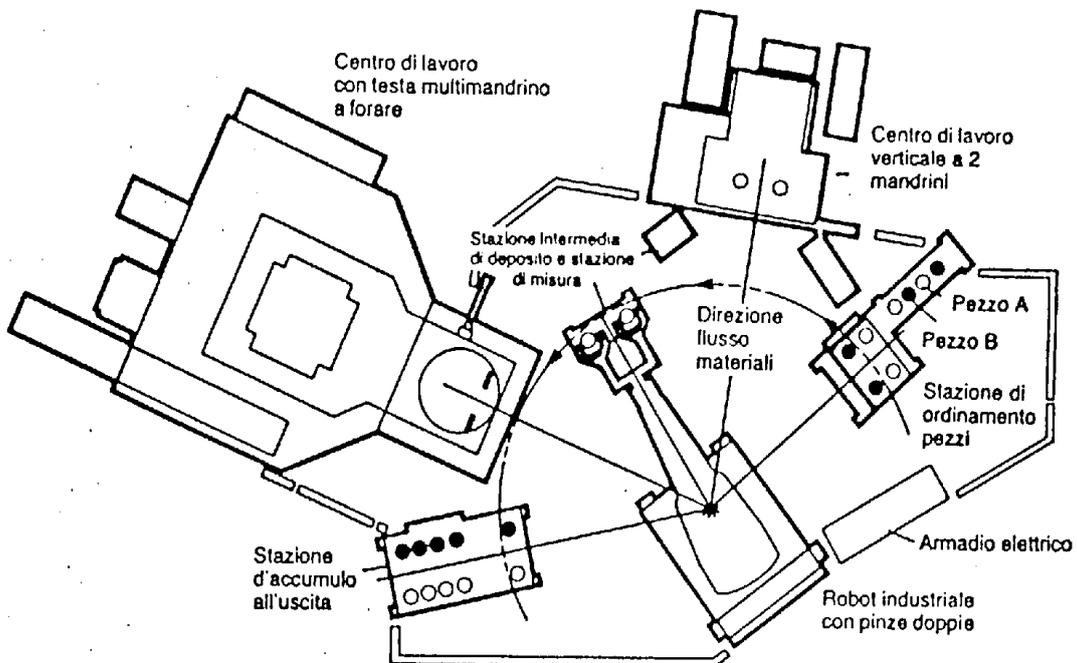


Figura 12 - Esempio di disposizione robot asservito a due machine utensili per carico/scarico di pezzi

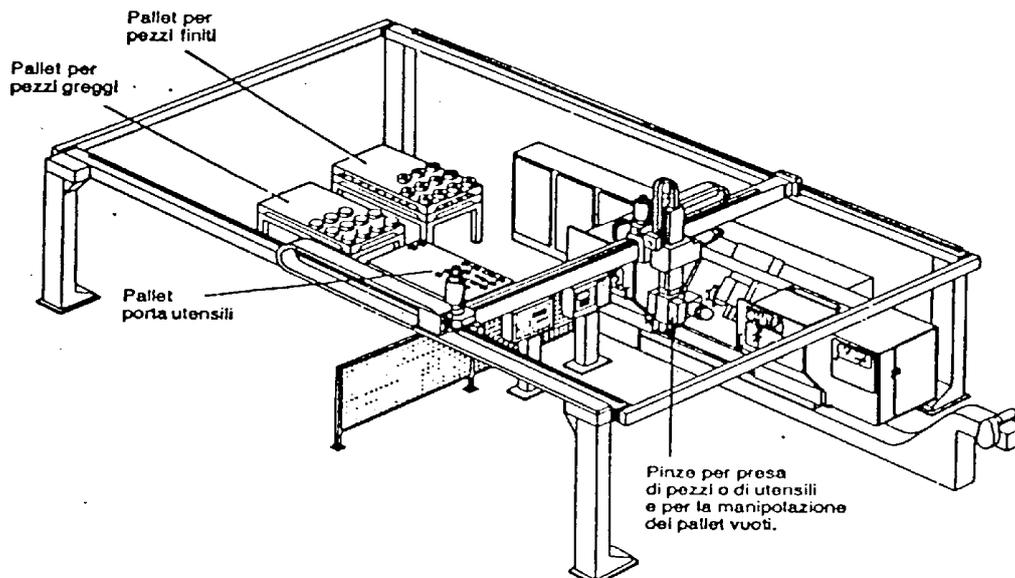


Figura 13 - Robot a portale per la manipolazione di pezzi ed utensili su uno o più torni automatici

1.4.1 Il robot nel CIM

Il *CIM* impone nuovi requisiti alle apparecchiature utilizzate, quali ad esempio:

- facilità di interfacciarsi con i calcolatori;
- capacità di comunicare su rete;
- programmabilità locale e remota;
- autodiagnostica;
- necessità di analizzare, in tempo reale, le condizioni di produzione per mettere a punto una pianificazione dinamica.

Per rispondere meglio alle nuove esigenze di integrazione poste dal *CIM*, sono stati sviluppati dei nuovi linguaggi per i robot industriali che ne facilitano il dialogo con il computer e l'interfacciamento con l'operatore.

Se consideriamo, infine, un settore particolare del *CIM*, ovvero quello degli *FMS*, possiamo notare che l'uso prevalente dei robot industriali si ha nell'alimentazione degli utensili e dei pezzi alle macchine.

1.4.2 Classificazione dei robot

Le metodologie di classificazione dei robot sono diverse, ma la più comune tende a suddividerli in 3 macroclassi: *sistemi robotici di manipolazione*, *sistemi robotici mobili* e *sistemi robotici di controllo ed informazione*.

Alla prima macroclasse appartengono i *robot automatici*, i *robot a controllo remoto* ed i *meccanismi controllati manualmente*, direttamente accoppiati agli arti dell'operatore. I *robot automatici*, in particolare, si distinguono in: *programmabili* (macchine che hanno la capacità di essere programmate e/o riprogrammate più volte); *adattativi* (macchine con capacità operative più elevate e che adattano i propri sistemi di controllo alla situazione); *intelligenti* (macchine che riconoscono le situazioni, generando automaticamente le soluzioni). I *robot a controllo remoto* possono essere suddivisi in altre categorie, a seconda della struttura della macchina: dato il loro peso e tenuto conto anche del costo elevato, non sono comuni e vengono utilizzati esclusivamente per la costruzione di impianti nucleari o in campo medico.

I *sistemi robotici mobili* sono, essenzialmente, costituiti dalle *piattaforme mobili*, il cui moto viene gestito da un sistema automatico: esse possono compiere le più svariate operazioni (dal carico allo scarico, fino ad arrivare al trasporto di oggetti su terra, in acqua o anche in aria). Tali dispositivi, costituiti da una struttura "a ragno", vengono utilizzati, prevalentemente, in campo militare vista la capacità di muoversi su una qualunque superficie.

I *sistemi robotici di controllo ed informazione*, infine, costituiscono dei *dispositivi di controllo e di misura* molto complessi: essi, infatti, acquisiscono, processano e trasferiscono dati, oltre a generare vari segnali di controllo. Per tali motivi, risultano molto poco utilizzati, se non in campo aerospaziale.

Entrando maggiormente nello specifico, per quanto concerne i robot utilizzati in campo industriale, un'altra classificazione comune è quella relativa alla *struttura geometrica*; in questo caso, essi vengono distinti in: *cartesiani*, *cilindrici*, *sferici*, *articolati* e *paralleli*. I primi quattro vengono definiti a "catena aperta", mentre i *robot paralleli* presentano una struttura di tipo "chiuso" nel senso che i membri che lo costituiscono sono vincolati tra loro.

Un altro criterio di classificazione si basa sul *metodo di controllo*; con questa tipologia di classificazione, i manipolatori vengono suddivisi in: *non servo-controllati (ad anello aperto)*, *servo-controllati (ad anello chiuso* e, in particolare, con *controllo punto a punto* oppure con *controllo continuo*), *con sensori esterni*.

Le macchine con *controllo ad anello aperto*, in genere, utilizzano motori passo-passo, mentre una diversa tipologia di motore è richiesta dalle macchine *servo controllate*. Su queste ultime, il controllo può essere effettuato in due diversi modi: o *punto a punto*, oppure con *continuità*.

Le macchine *con sensori esterni*, infine, sono quelle delle ultime generazioni, capaci di interagire con l'ambiente.

Un'altra tipologia, ancora, di classificazione, tiene conto del *tipo di attuatori* utilizzati (*elettrici, idraulici, pneumatici*). Gli *attuatori pneumatici* presentano un'elevata rumorosità, oltre che una maggiore difficoltà nel controllo della posizione; per tali motivi, generalmente, vengono impiegati gli *attuatori elettrici*, mentre gli *attuatori idraulici* vengono scelti quando si ha a che fare con grandi forze.

Esiste, poi, una classificazione basata su *criteri funzionali* (per la quale distinguiamo tra *manipolazione, processo* (saldatura, verniciatura, etc.) ed *assemblaggio*) ed un'altra ancora legata a *criteri informatici* (*semifissi a sequenziatori* oppure *programmabili*).

Infine, esiste una classificazione basata sul *tipo di apprendimento: diretto* (*punto a punto* oppure *continuo*) o *indiretto*. Per tali tipologie di robot, è possibile fornire le informazioni sulla traiettoria in due modi: nel modo *diretto* si registrano i vettori di posizione del robot e, in un secondo tempo, il robot eseguirà in successione queste posizioni. A seconda della distanza fra due posizioni consecutive, l'apprendimento diretto potrà essere *punto a punto* oppure *continuo*. Nell'apprendimento indiretto, invece, il robot, noti i punti di arrivo e di partenza e le informazioni relative allo ambiente (in particolare, l'eventuale presenza di ostacoli), sfruttando algoritmi propri, genera la traiettoria.

Nella pagina seguente, in *Figura 14*, viene riportato uno schema con la classificazione dei robot industriali di cui sono state appena evidenziate le caratteristiche:

CLASSIFICAZIONE DEI ROBOTS

Struttura geometrica	<ul style="list-style-type: none"> • cartesiani • cilindrici • sferici • articolati • paralleli
Metodo di controllo	<ul style="list-style-type: none"> • non servo-controllati (ad anello aperto) • servo-controllati (ad anello chiuso) <ul style="list-style-type: none"> - punto a punto - continui • con sensori esterni (interazione con l'ambiente)
Tipo di attuatori	<ul style="list-style-type: none"> • elettrici • idraulici • pneumatici
Criteri funzionali (Tipo di impiego)	<ul style="list-style-type: none"> • manipolazione • processo <ul style="list-style-type: none"> - saldatura - verniciatura - ecc. • assemblaggio
Criteri operativi (Tipo di apprendimento)	<ul style="list-style-type: none"> • diretto <ul style="list-style-type: none"> - apprendimento punto a punto - apprendimento continuo (con o senza interpolazione) • indiretto <ul style="list-style-type: none"> - linguaggio evoluto - intelligenza artificiale
Criteri informatici	<ul style="list-style-type: none"> • semifissi a sequenziatori • programmabili

C.J.M.A. - 7

Figura 14 - Classificazione dei robot industriali

1.4.3 Lo stato attuale della robotica

Oltre quelli già evidenziati (ottenere prodotti migliori, ridurre i costi di produzione, avere maggiore sicurezza sul lavoro, etc.), l'*obiettivo della robotica industriale* risulta essere quello di produrre robot con diverse caratteristiche in evoluzione:

- sempre più *affidabili*;
- sempre più *veloci* (le velocità in gioco sono di circa 1 m/s ed 1 rad/s), tenendo conto di alcuni fattori che giocano a sfavore di una maggiore velocità, quali i pesi delle parti in movimento, che spingono, quindi, al lavorare sia sui materiali che sulla forma, per alleggerire la struttura;
- *meno costosi* (a parità di prestazioni);
- con tempi di manutenzione brevi e guasti prevedibili (*manutenzione predittiva*);
- con *sistemi di controllo potenziati* (maggiore capacità di calcolo, per un migliore controllo delle traiettorie);
- maggiore “*intelligenza*”;
- con *sistemi sensoriali potenziati*;
- con maggiore facilità di programmazione (*flessibilità*);
- facilmente inseribili nei processi produttivi (*modularità*).

I robot, oltre che per le applicazioni industriali, vengono impiegati anche in altro modo, in particolare:

- nello spazio o nei sottomarini;
- nella ricerca;
- come macchine camminanti;
- come telemanipolatori;
- come simulatori di volo (in particolare, robot paralleli).

Per capire l'importanza che hanno iniziato ad assumere i robot, al giorno d'oggi, basta andare ad esaminare la fornitura mondiale annuale stimata di robot industriali relativa agli ultimi anni (*Figura 15*) e quanto sia cresciuto il magazzino mondiale operativo dei robot industriali nello stesso periodo (*Figura 16*): come si può vedere, anche le previsioni per i prossimi anni appaiono essere in costante ascesa.

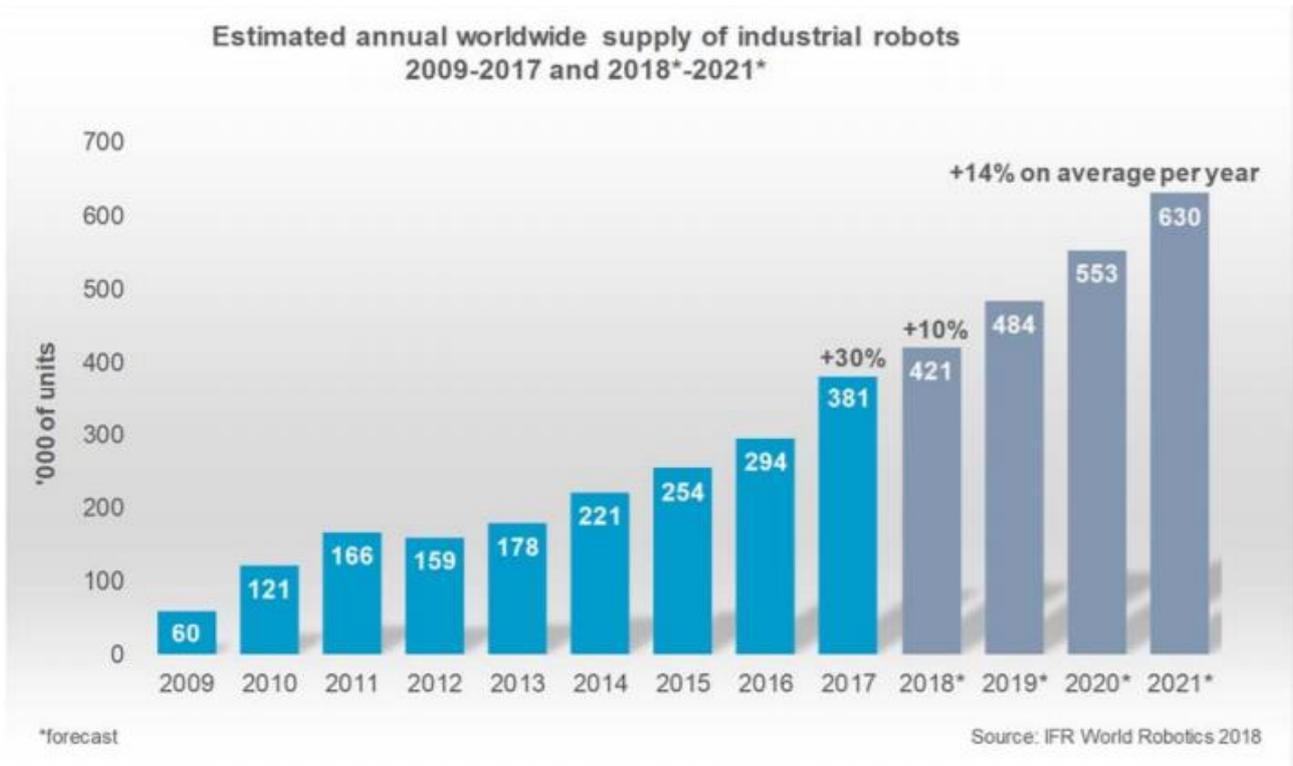


Figura 15 - Estimated annual worldwide supply of industrial robots 2009-2021

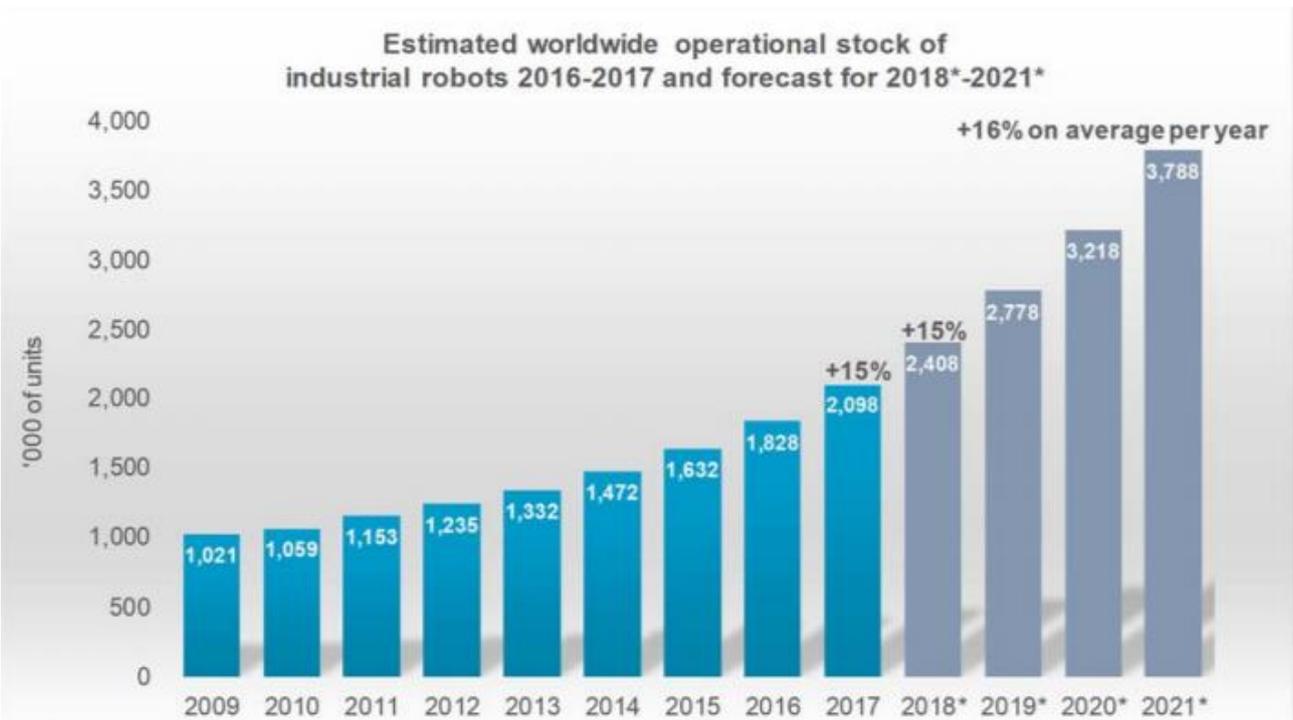


Figura 16 - Estimated worldwide operational stock of industrial robots 2009-2021

CAPITOLO 2 – L’IMPIANTO AUTOMATICO DI ASSEMBLAGGIO

2.1 L'azienda GT Line

Fondata nel 1970 a Bologna come falegnameria per la costruzione di casse acustiche per strumenti musicali, rispondendo ad alcune esigenze sorte nel settore della manutenzione tecnica delle televisioni, **GT Line**, da oltre 45 anni, progetta e costruisce una gamma di valigie tecniche e contenitori unica al mondo: **valigie portautensili** (più affidabili contenitori portautensili professionali); **WORK LINE** (ampia gamma di soluzioni pratiche e leggere di aiuto al portautensile professionale); **@HAND** (contenitori per il mobile computing); **EXPLORER CASES** (contenitori a tenuta stagna per la massima protezione durante il trasporto di equipaggiamenti professionali).

L'azienda, da anni, è leader nel mercato mondiale, grazie agli investimenti in ricerca, sviluppo ed innovazione e presenta 3 siti produttivi dislocati nel mondo, strategici per la produzione e la consegna di equipaggiamenti professionali, destinati a missioni umanitarie, tecnici al lavoro su piattaforme petrolifere o, persino, escursionisti sulle più alte vette dell'Himalaya.

Tutti i processi produttivi e di assemblaggio dei prodotti sono fortemente automatizzati al fine di perseguire elevata affidabilità, resistenza e costanza qualitativa (certificata dal *Sistema di Qualità ISO-9001*), migliorando costantemente i prodotti e rispettando il più possibile le esigenze dei clienti.

2.2 Il prodotto: Explorer Cases

Oggetto di studio per la modifica di un impianto automatico di produzione ed assemblaggio è la line *Explorer Cases*. Quella delle *Explorer Cases* costituisce una linea completa di valigie a tenuta stagna indistruttibili e rappresenta la soluzione ottimale per rispondere alle richieste degli utilizzatori più esigenti nelle condizioni più estreme: dal settore nautico od avionico, per il trasporto di apparecchiature elettroniche, mediche o militari, alla protezione di attrezzature fotografiche od equipaggiamenti tecnici e sportivi.

Il corpo valigia, in resina plastica ad alto spessore, è caratterizzato da un'elevata resistenza ad urti, sostanze corrosive, acqua, polveri ed agenti atmosferici, mentre la guarnizione a sigillo in neoprene e la valvola di pressurizzazione garantiscono un rapido assestamento della pressione interna nel caso di repentine variazioni di altitudine o di temperatura. Al fine di garantire affidabilità e resistenza nelle condizioni più estreme, le *Explorer Cases* vengono sottoposte a severi test di laboratorio, mentre, per verificarne la conformità, si persegue il rispetto delle specifiche caratteristiche mondiali del relativo settore di appartenenza del prodotto.

Tra i tantissimi *punti di forza* delle *Explorer Cases*, ricordiamo i seguenti:

- a tenuta stagna, resistenti all'acqua, agli agenti chimici ed alla polvere;
- resistenti a temperature estreme (da -33° C a +90° C);
- valvola di pressurizzazione e serratura a leva con apertura facilitata;
- specificamente studiate per uso professionale;
- 100% *Made in Italy*;
- certificate con i nuovi standard militari;
- universalmente riconosciute come le più versatili per applicazioni speciali;
- la più vasta gamma di accessori specifici per ogni campo di applicazione;
- particolari innovativi coperti da brevetto.

D'altra parte, la volontà della *GT Line* è ben nota ed evidenza come si voglia che le valigie *Explorer* costituiscano “il più affidabile strumento di trasporto per oggetti delicati e costosi, anche nelle peggiori condizioni ambientali: per questo, le valigie sono garantite *PER SEMPRE* contro difetti di produzione che possano minarne l'integrità del contenuto”.

A dimostrazione di ciò, esistono numerose certificazioni di qualità ed innovazioni brevettate che rendono le *Explorer Cases* eccellenti sotto tutti i punti di vista. Tra di esse ricordiamo:

- *IP67 Resistenza alle polveri ed ai liquidi*;
- *Defence Standard 81-41 Level J*;
- *STANAG 4280 (ed. 2)*;
- *Conformità con le Direttive 2002/95/EC*;
- *MIL-STD 810F/810G*;
- *Nato Stock Number (NSN)*.

Nella pagina seguente (*Figura 17*), vengono riportati, in tabella, alcuni dei test che vengono svolti per verificare, tra le altre cose, resistenza ad impatti e vibrazioni. In tal senso risulta emblematico il motto portato avanti dall'azienda costruttrice: “Costruite più forti per durare più a lungo: “Come testiamo le nostre valigie””.

TEST	SPECIFICATIONS	TEST DESCRIPTION
IMPACT HORIZONTAL TEST	STANAG 4280 DEF-STD 81-41 (Part 3 Issue 4)	The test is performed to demonstrate the ability of a case to withstand horizontal impacts at a velocity of 2.5 metres per second, simulating impacts in crane lifting, rail shunting and other violent movements of the transporting vehicle. The case is positioned at a defined height with an additional weight inside and made it fall on both, left and right sides, on a flat and smooth concrete surface.
IMPACT VERTICAL TEST	STANAG 4280 DEF-STD 81-41 (Part 3 Issue 4)	The test is performed to demonstrate the ability of a case to withstand vertical impacts at a velocity of 2.5 metres per second. The case is positioned at a defined height with an additional weight inside and made it fall on its rear, front, top and bottom sides, on a flat and smooth concrete surface.
VIBRATION TEST	STANAG 4280 DEF-STD 81-41 (Part 3 Issue 4)	The test is performed to demonstrate the ability of a case to withstand vibration over a frequency range 5 - 350 Hz. The case is secured on the vibrating table, putting into vibration first the axis orthogonal to the plane, defined by the transport position, and then one of the other two axis, for the duration of 180 minutes for axis.
DRY-HEAT TEST & LOW TEMPERATURE TEST	STANAG 4280 DEF-STD 81-41 (Part 3 Issue 4)	Dry-heat test: the test is intended to assess the effects of drying on the protective properties of the case. The test is carried out by putting the case inside the climatic chamber in the transport position, setting up a test activity with a temperature variation from 20 to 80 °C, and a percentage of relative humidity from 50 to 80% for a time period of 64 hours. Low temperature test: the test is intended to assess the effects of low temperature on the protective properties of the case.
IMPACT VERTICAL TEST & IMPACT HORIZONTAL TEST AFTER DRY HEAT TEST & LOW TEMPERATURE TEST	STANAG 4280 DEF-STD 81-41 (Part 3 Issue 4)	At the end of the Dry-heat test and Low temperature test, the Impact tests (Impact vertical test and Impact horizontal test) are repeated.
IP 67 CODE TEST	CEI EN 60529	IP 6X CODE - No ingress of dust: the test is made using a dust chamber for a time period between 2-8 hours. IP X7 CODE - Temporary immersion in water: the test is made by completely immersing the case in 1 meter water, for 30 minutes.
STORAGE TEST	STANAG 4280 DEF-STD 81-41 (Part 3 Issue 4)	The test is intended to assess the effects of the climatic protection provided by a case when stored in a temperate environment. The test is carried out by putting the case inside the climatic chamber in the transport position, setting up a test activity with a temperature variation from -33°C (or -40°C) to +90°C, and a percentage of relative humidity not less than 90%, for a time period of 24 hours, repeating the cycle for 28 times.

Figura 17 - Test effettuati dalla GT Line sulle Explorer Cases

Le *Explorer Cases* sono disponibili in diversi formati, in quattro colorazioni (nero, verde militare, arancio, sabbia) e due configurazioni standard, con svariate possibilità di personalizzazione degli interni: con spugna precubettata, che permette di creare alloggiamenti su misura per qualsiasi tipologia di oggetto da contenere, oppure con fondo vuoto, predisposto per un facile fissaggio di speciali supporti laterali o cornici che consentano l’inserimento di pannelli per attrezzature o strumenti per ogni necessità. È, inoltre, possibile realizzare valigie in colorazioni speciali, esclusivamente su richiesta e per quantitativi minimi.

Analizzando, nello specifico, i diversi modelli di *Explorer Cases*, possiamo notare che i modelli *10826 B* (Figura 18), utilizzati per il trasporto di armi, sono allestiti internamente con spugna presagomata ed una barra metallica di bloccaggio per l’alloggio di dodici caricatori e sei fucili. Presentano, inoltre, rinforzi in acciaio nei punti di fissaggio per lucchetti e serrature metalliche con gancio a farfalla, quattro ruote

con boccola in ottone autolubrificante, coperchio (eventualmente rimovibile) con cerniera e braccetti metallici di supporto.



Figura 18 - Explorer Cases modello 10826 B

I modelli 10840 (Figura 19), anch'essi destinati al trasporto armi, ma con capienza doppia rispetto a quelli appena visti, presentano un indicatore di umidità con cartina assorbente sostituibile, sensibile alle variazioni di umidità e con colore mutevole in relazione alla stessa, un'eventuale staffa di metallo per fissare al muro l'intera valigia od anche solo una metà. La staffa può, inoltre, essere utilizzata per fissare la valigia su veicoli attrezzati per il trasporto di armi o nello allestimento di campi base militari.



Figura 19 - Explorer Cases modello 10840 B

Molto utilizzate sono, poi, le robuste *borse porta fucili* (Figura 20), complete di spallaccio per il trasporto a spalla e realizzate in varie dimensioni per trasportare in sicurezza diversi modelli di fucili ed accessori. Tra le principali caratteristiche si annoverano: tessuto imbottito, chiusure lampo resistenti, alette in neoprene con velcro per una maggiore protezione del fucile, bande di velcro regolabili per il fissaggio dei fucili, tasche esterne imbottite porta accessori, munizioni e caricatori.



Figura 20 - Borsa porta fucili modello GBAG 108

Un prodotto innovativo è costituito, poi, dal *BACKPACK* (Figura 21), che permette di trasformare la valigia in zaino: così facendo l'utente è libero di muoversi, camminare su percorsi accidentati, guidare una moto o, persino, nuotare in completa sicurezza. Gli spallacci regolabili e lo schienale ergonomico imbottito garantiscono, infine, grande comodità nel trasporto, anche a pieno carico.



Figura 21 - Modello Backpack L

Completano la gamma, infine, gli zaini per droni e macchine fotografiche, con i relativi divisori ed alloggiamenti di varie dimensioni, le borse imbottite, i diversi pannelli con tasche per coperchio, la borsa per treppiede e la novità rappresentata dalla custodia per notebook in 2 dimensioni (da 13" o da 15.6").

I moderni processi produttivi consentono di soddisfare qualunque tipo di richiesta: le valigie *Explorer Cases*, quindi, possono essere personalizzate con appositi interni per garantire, in ogni situazione, la perfetta protezione di dispositivi e/o strumenti delicati. Alcuni modelli sono dotati, nel coperchio, di punti di fissaggio addizionali per l'inserimento di supporti metallici od in plastica, utilizzabili come basi di appoggio per trasformare la valigia in una vera e propria stazione di lavoro. Inoltre, i supporti possono essere rimossi e ripristinati quando necessario, mentre le viti per il fissaggio non sono passanti, così da permettere alla valigia di conservare le proprie caratteristiche di impermeabilità.

Le cornici di supporto (*PANRING*) possono essere utilizzate per il fissaggio di pannelli: dotate di guarnizione, una volta fissate consentono di creare una base di appoggio per la creazione di workstation. Le personalizzazioni esterne sulle calotte consentono di

realizzare fessure o fori su misura per la creazione di prese d'areazione per gli apparecchi elettronici contenuti o per il passaggio di cavi.

I lucchetti, infine, assicurano una perfetta aderenza alla sagoma della valigia, per una chiusura stabile e senza movimenti. La particolare omologazione *TSA* consente, inoltre, al personale addetto in aeroporto, di svolgere una rapida ispezione del contenuto, senza arrecare danni allo stesso.

In conclusione, l'obiettivo principe dell'azienda rimane quello di garantire sempre la massima sicurezza degli strumenti contenuti, ottimizzando gli spazi interni senza trascurarne la praticità; è, inoltre, possibile qualunque tipo di personalizzazione: da un colore particolare, all'inserimento del logo aziendale sulla valigia.

2.3 Il processo di produzione ed assemblaggio attuale

L'attuale processo di produzione ed assemblaggio delle valigie *Explorer Cases* è organizzato per reparti, secondo uno schema cosiddetto "a T": sul tronco centrale vi è una *zona di impilaggio* dei vassoi e dei relativi coperchi, con un *nastro trasportatore* (a rulli rotanti) che funge da alimentatore per un *primo robot*, dedito alla manipolazione dei prodotti. Sul ramo piccolo si ha, invece, la stazione di lavoro per l'inserimento della guarnizione ed un *secondo robot*, sulla cui flangia, è montato l'ugello di inserimento della guarnizione stessa. Infine, sul ramo lungo, sono presenti: un *magazzino automatico*, atto a contenere i coperchi durante la fase di stasi post inserimento della guarnizione, ed un *terzo robot*, con caratteristiche simili al primo manipolatore, che ha, invece, sia il compito di trasferire i prodotti dal magazzino automatico alle *due tavole rotanti* dedicate all'assemblaggio manuale dei due gusci delle valigie, che quello di smistare i prodotti finiti sui rispettivi *nastri di evacuazione*.

La planimetria di quanto appena descritto è rappresentata in *Figura 22*, alla pagina seguente:

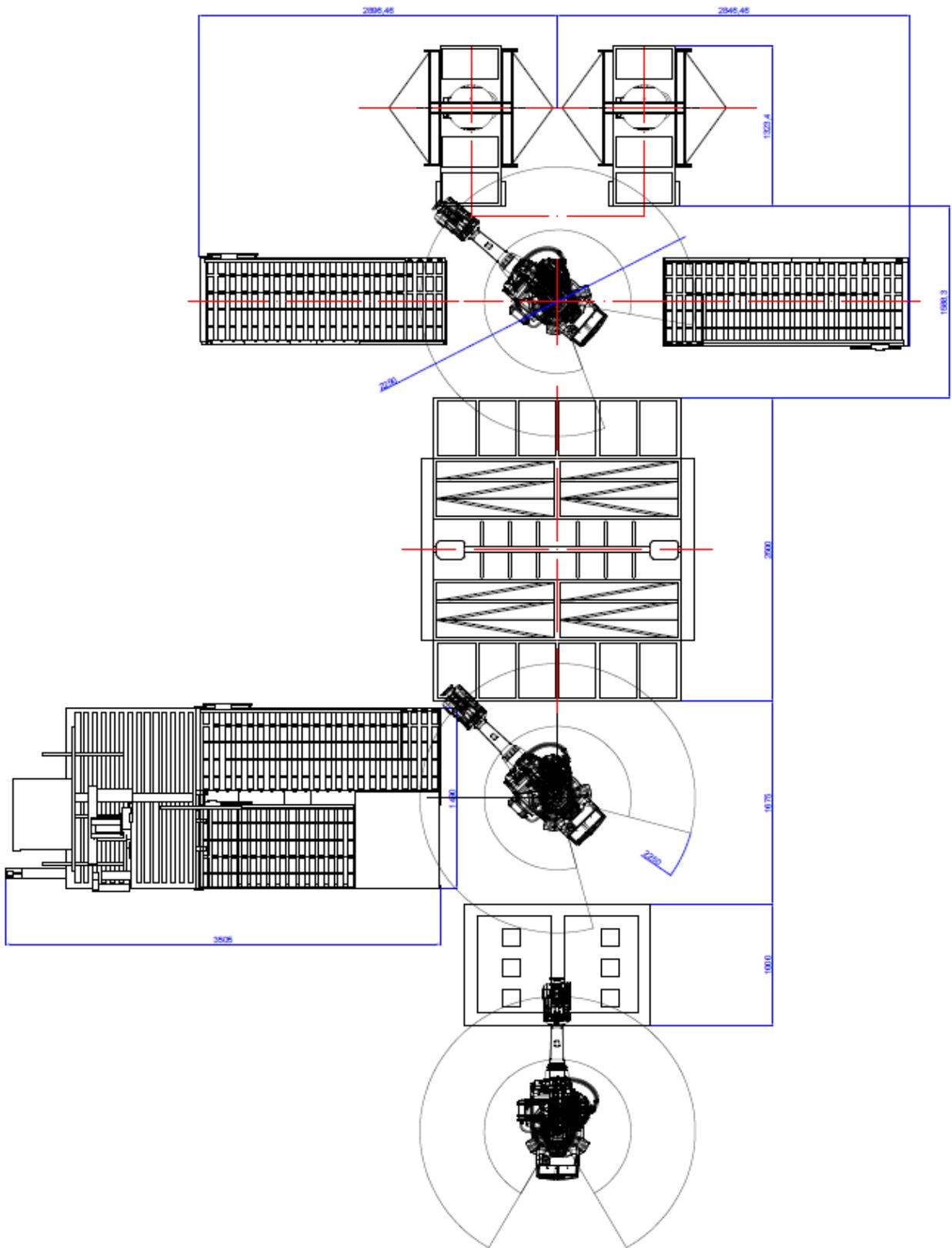


Figura 22 – Planimetria dell'attuale linea di produzione ed assemblaggio

Entrando maggiormente nel dettaglio del processo produttivo attuale, andiamo ad analizzare quelle che sono le attuali fasi della lavorazione.

Il *fondo* ed il *coperchio* della valigia, realizzati in materiale plastico, sono prodotti attraverso un processo di *stampaggio* (Figura 23), utilizzando macchine totalmente automatiche, di diverso tonnellaggio a seconda delle dimensioni dei componenti da realizzare.



Figura 23 – Particolare del reparto stampaggio

Un *operatore carrellista* preleva, dal reparto stampaggio, un *coperchio*, un *termoformato* ed un *pallet*, andando a creare delle *pile*, che devono rimanere a riposo per almeno 3 ore, così da far assestare il reticolo cristallino per giungere al completo ritiro del materiale.

Trascorso tale tempo, lo stesso operatore provvederà ad impilare il tutto su un *nastro trasportatore*, che condurrà le pile nella zona di *erogazione della guarnizione*: qui un *robot antropomorfo* preleva un termoformato per volta, posizionandolo in una delle due postazioni asservite da un *robot* addetto all'*erogazione* della guarnizione (Figura 24).



Figura 24 - Zona erogazione guarnizione: robot antropomorfo e robot erogatore in azione

Conclusa la procedura di erogazione della guarnizione, il robot antropomorfo preleverà il *termoformato* lavorato per inserirlo in uno dei sei alloggi disponibili della *baia di carico* del *magazzino automatico*.

Una volta esaurito lo spazio disponibile all'interno degli alloggi, il termoformato verrà inserito all'interno dei *cassetti* del magazzino automatico e quivi rimarrà per un tempo non inferiore alle 24 ore: tale attesa è dovuta al tempo necessario alla guarnizione erogata per amalgamarsi e stabilizzarsi.

A questo punto, i cassetti vengono svuotati ed i termoformati posizionati nella *baia di scarico*, da cui un *robot antropomorfo* provvederà a posizionarli in una delle due *tavole rotanti* sulle quali un *operatore* procederà con l'*assemblaggio finale*, legando componenti esterni ed accessori della valigia (maniglie, ganci, valvole, etichette, ruote, *carter*), oltre che, tramite opportuni perni, coperchio e fondo della stessa.

Man mano che vengono terminate le operazioni di assemblaggio sulla tavola rotante, il *robot antropomorfo* preleva, alternatamente, un *termoformato vuoto* ed una *valigia assemblata* per porli sui rispettivi *nastri di evacuazione*.

L'attuale ciclo di produzione è organizzato su *due turni di lavoro al giorno* della durata di *8 ore* ciascuno per un totale di *4 operatori per ogni turno*, di cui *2 addetti all'assemblaggio*, ed una produzione di *200 valigie* (di dimensione variabile) *al giorno*.

CAPITOLO 3 – ANALISI TECNICA DELLE PROPOSTE INNOVATIVE

3.1 Analisi tecnica proposta A

Da quanto emerso nel precedente capitolo, l'azienda **GT Line** ha l'esigenza di utilizzare macchine altamente flessibili, dal momento che, durante il ciclo di produzione, si troveranno a dover movimentare e lavorare prodotti molto diversi tra loro per peso e dimensioni: basti pensare alle enormi differenze esistenti tra il modello più piccolo (1908 in *Figura 25*) e quello più grande (15416 in *Figura 26*), entrambi oggetto di studio. Per tali motivi, tutte le scelte relative alle possibili modifiche proposte, sono state studiate seguendo questi criteri.



Figura 25 – Modello 1908



Figura 26 – Modello 15416

Nella prima opzione d'innovazione, si è pensato di sostituire l'attuale zona di impilaggio manuale con un *magazzino verticale a cassoni rotanti*, di cui, in *Figura 27* viene evidenziata la logica di funzionamento.



Figura 27 – Magazzino verticale a cassoni rotanti

Tale magazzino, dotato di baie di carico e di scarico, viene alimentato da un *nastro trasportatore*, leggermente inclinato, movimentato da *rulli* e dotato di *stopper*: la funzione di quest'ultimo elemento è quella di impedire, alzandosi, o permettere, abbassandosi, il passaggio dei pezzi quando necessario. Nello specifico, quando un coperchio della valigia si muove lungo i rulli, giungendo all'imbocco del magazzino, gli *stopper* (di solito tre: due disposti lungo il nastro ed uno sulla testata finale) entrano in gioco, alzandosi, impedendo il passaggio degli altri coperchi ed evitando il contatto tra gli stessi. Quando, invece, il coperchio sarà stato caricato in uno dei cassetti liberi del magazzino, gli *stopper* torneranno ad abbassarsi, così da consentire il passaggio dei

pezzi ed il loro, successivo, arrivo nella zona di caricamento del magazzino. L'intera movimentazione sarà gestita, esternamente, da una *CPU (Central Processing Unit)*, ovvero da un'unità di elaborazione centrale che coordina tutte le altre unità presenti. Tale principio di funzionamento viene riportato nella *Figura 28*:

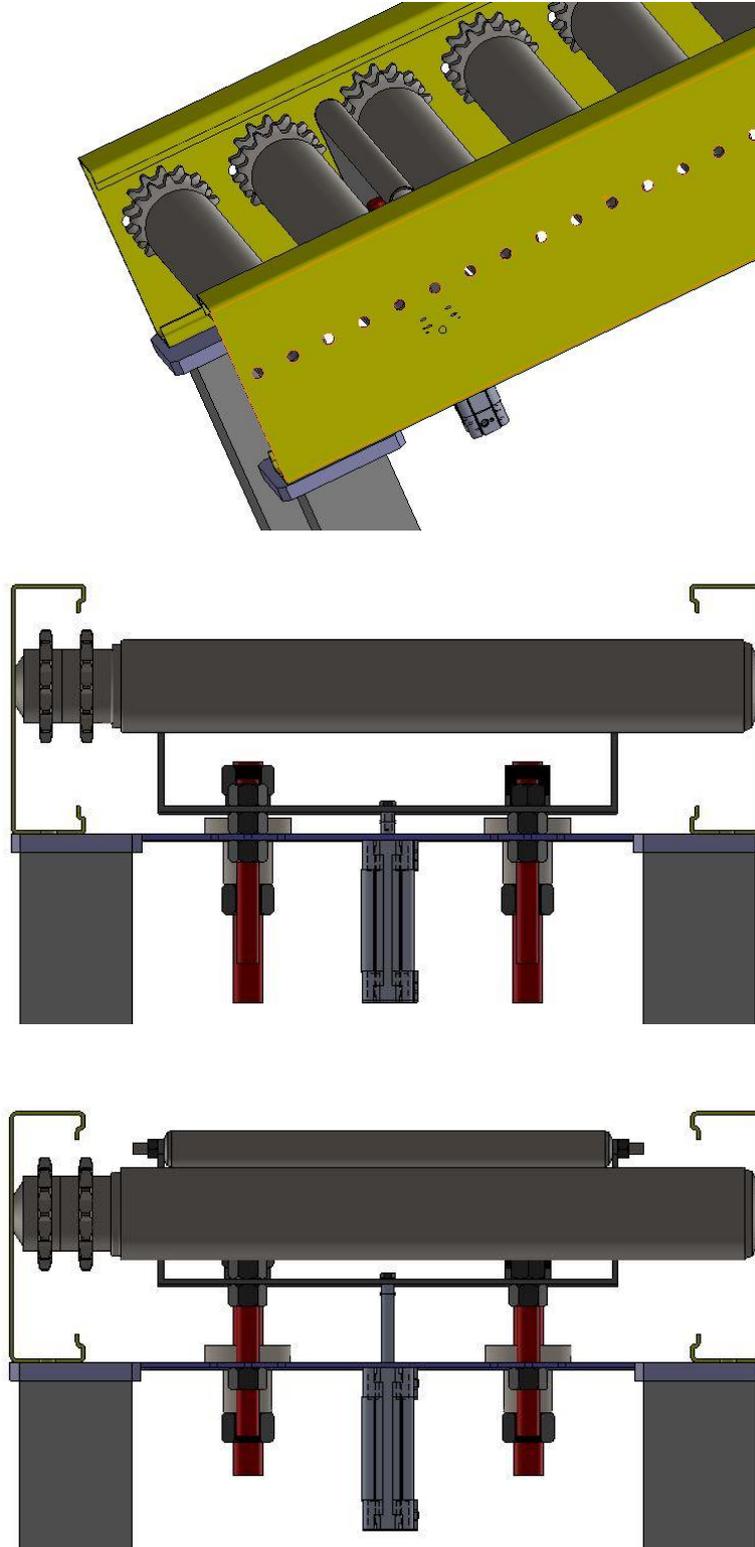


Figura 28 – Principio di funzionamento degli stopper

A valle del magazzino verticale viene predisposta una *tavola rotante motorizzata*, dotata di rulli (*Figura 29*), che consentirà il posizionamento longitudinale dei coperchi (in particolare, di quello del modello 15416, caratterizzato da lunghezza e peso massimi) sul *nastro di alimentazione* (il cui principio di funzionamento è lo stesso analizzato precedentemente) che li condurrà nella zona di erogazione della guarnizione. Per il prelievo dei coperchi dal magazzino e l'inserimento sulla tavola rotante viene utilizzato un *meccanismo di presa con doppio gancio*, ovvero una sorta di biassiale molto elementare, dal momento che può muoversi lungo due direzioni (*Figura 30*). Tale operazione consta di quattro fasi:

- 1) il cilindro orizzontale viene attuato e, di conseguenza, i ganci si spostano verso il cassone del magazzino;
- 2) vengono attuati i due cilindri verticali: i ganci vanno, così, in presa sul coperchio;
- 3) il cilindro orizzontale torna indietro, trascinando con sé il coperchio sulla tavola rotante;
- 4) i cilindri verticali tornano alla posizione di partenza: i ganci vengono disimpegnati dal coperchio.

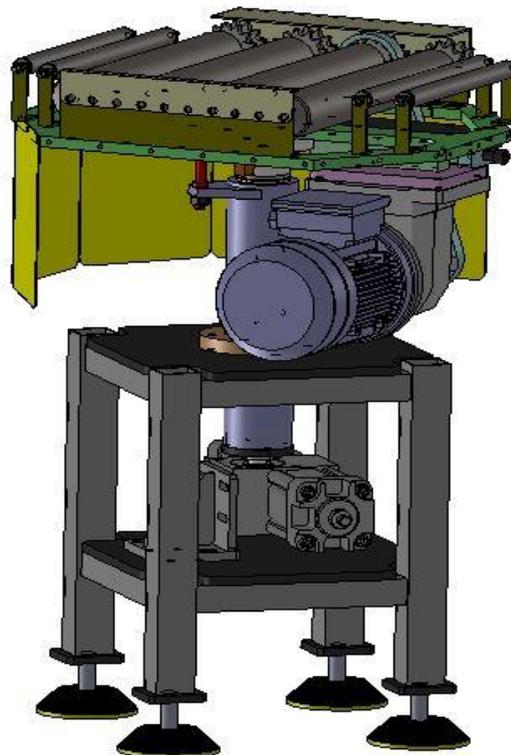


Figura 29 – Tavola rotante motorizzata con rulli

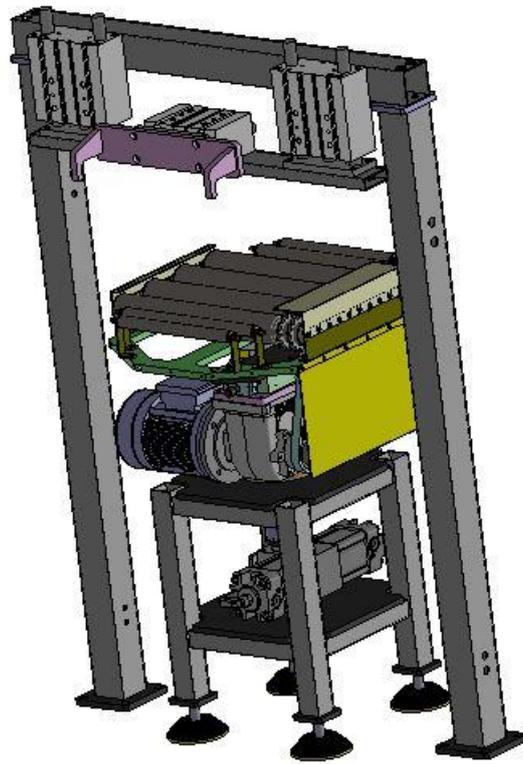


Figura 30 – Meccanismo di presa con doppio gancio

La modifica proposta, completa di tutte le soluzioni, viene schematizzata nella planimetria di *Figura 31*:

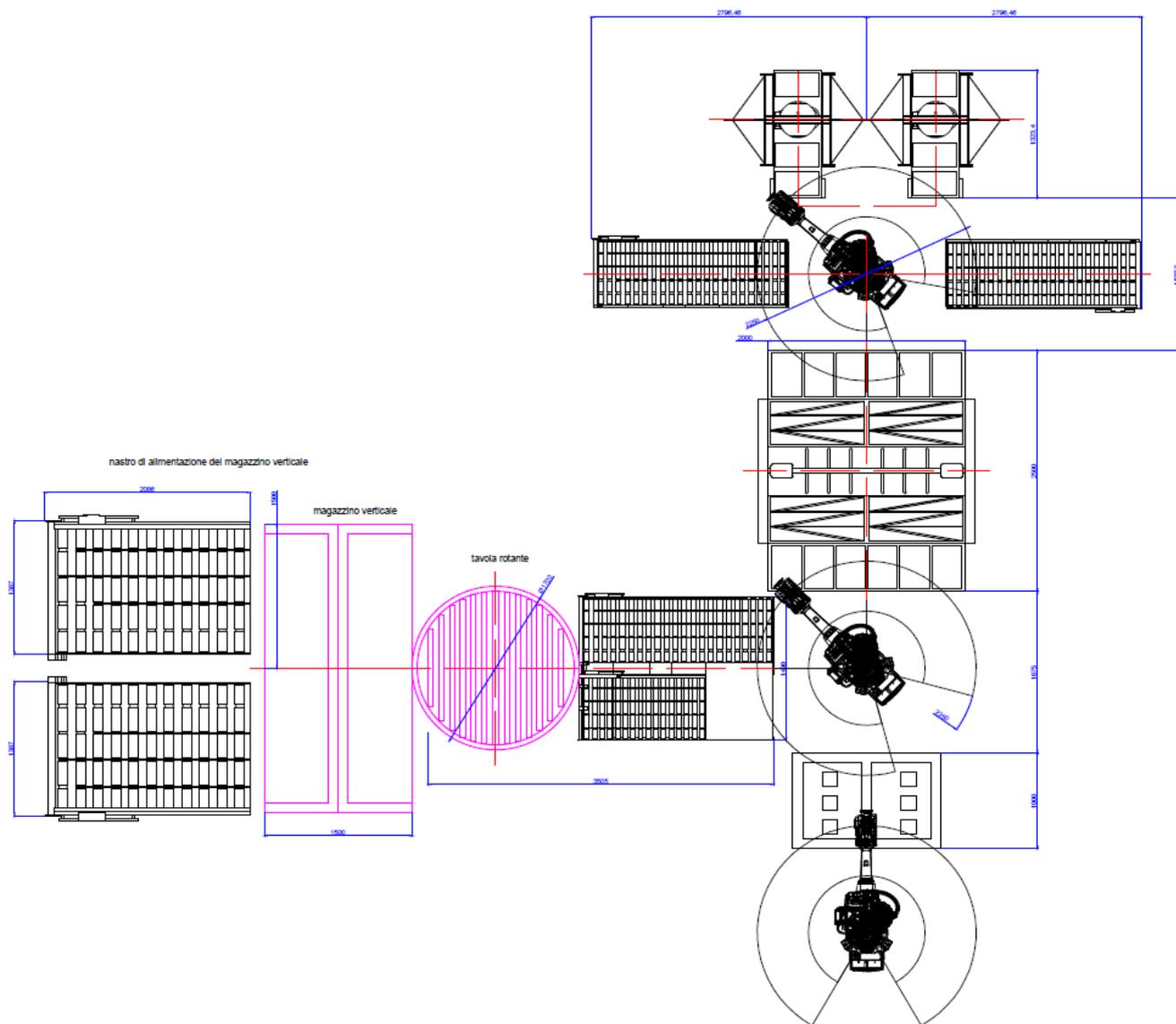


Figura 31 – Planimetria proposta A

3.2 Analisi tecnica proposta B

Un punto di chiave dell'attuale linea di assemblaggio, è rappresentato dalla zona di erogazione della guarnizione; pertanto, la seconda proposta d'innovazione tratta la modifica di tale zona di lavoro. In particolare, si è pensato di sostituire i due robot antropomorfi attuali, uno atto alla traslazione dei coperchi dal nastro di alimentazione alla tavola di lavoro, l'altro dotato dell'ugello di inserimento della guarnizione, con un *unico robot antropomorfo*, caratterizzato da un raggio di azione maggiore, in grado di svolgere sia la funzione di prelievo e trasferimento dei coperchi che quella di inserimento della guarnizione.

Su tale robot, in corrispondenza della flangia dell'asse 6, verrà montato un *utensile* con, all'estrema destra, l'alloggiamento dell'ugello di inserimento della guarnizione; sul lato opposto, invece, saranno montate le spine di riferimento e le piastre atte al montaggio del *gripper* (pinza) di presa dei vari coperchi.

I *gripper* di presa possono essere uno o più di uno: in quest'ultimo caso, essi devono essere sostituiti mediante un cambio utensile automatico (tipo *Schunk quick change* in *Figura 32*).



Figura 32 – Schunk quick change

Dopo aver studiato la planimetria (*layout*) di processo, le dimensioni dei macchinari impiegati, le dimensioni ed i pesi dei prodotti da manipolare, la scelta del robot da utilizzare si è indirizzata verso un componente in grado di avere una capacità di carico pari, almeno, a 10 kg ed un raggio di azione minimo di 1200 mm.

Sono state analizzate le caratteristiche di 4 diverse tipologie di robot:

- a) *SCARA* della *Omron*;
- b) *Antropomorfo Viper* della *Omron*;
- c) *Antropomorfo IRB* della *ABB*;
- d) *Collaborativo* della *Universal Robots*.

Lo *SCARA* è un robot di tipo polare o cilindrico (vedi *Figura 33*). Esso è dotato di quattro assi controllati: due di tipo rotazionale, che permettono il moto, nel piano (x, y), degli elementi costituenti il braccio, un terzo, di tipo traslazionale, che permette il moto dello stelo, contenente il mandrino, lungo la direzione perpendicolare al piano suddetto, e, infine, il quarto asse, che rappresenta la direzione di rotazione del mandrino stesso. Tale asse, generalmente, non viene preso in considerazione nel calcolo dei gradi di libertà dei robot, corrispondenti al numero minimo di coordinate mediante le quali è possibile definire la posizione e l'orientamento di un corpo rigido nello spazio (6 nello spazio tridimensionale e 3 in quello piano).



Figura 33 - Robot SCARA

Gli *Scara* della *Omron* che più si avvicinano alle caratteristiche della linea di produzione oggetto di studio sono risultati essere:

- *Scara Omron R6-YXGP-1000*;
- *Scara Omron R6-YXX-1200*;

di cui vengono riportate le rispettive caratteristiche in *Figura 34* e *Figura 35*:

R6YXGP1000 SERIE XG - CON PROTEZIONE CONTRO IL GOCCIOLAMENTO E ANTI-POLVERE

Caratteristiche

		Asse X	Asse Y	Asse Z	Asse R
Raggio di azione (mm)		1000			
Massimo carico utile (kg)		18			
Ripetibilità ¹ (XYZ:mm) (R:°)		+/-0,02		+/-0,01	+/-0,004
Caratteristiche asse	Lunghezza del braccio (mm)	600	400	200	400
	Intervallo di rotazione (°)	+/-130	+/-150	----	+/-360
Meccanismo di decelerazione	Riduttore di velocità	Harmonic Drive	Harmonic Drive	Vite a sfere	Harmonic Drive
	Metodo di trasmissione	Dal motore al riduttore di velocità	Accoppiamento diretto		
		Dal riduttore di velocità all'uscita	Accoppiamento diretto		

Figura 34 - Datasheet dello SCARA R6-YXGP-1000

R6YXX1200 SERIE X

Caratteristiche

		Asse X	Asse Y	Asse Z	Asse R
Raggio di azione (mm)		1200			
Massimo carico utile (kg)		50			
Ripetibilità ¹ (XYZ:mm) (R:°)		+/-0,05		+/-0,02	+/-0,005
Caratteristiche assi	Lunghezza del braccio (mm)	600	600	400	----
	Intervallo di rotazione (°)	+/-125	+/-150	----	+/-360
Meccanismo di decelerazione	Riduttore di velocità	Riduttore epicicloidale	Riduttore epicicloidale	Vite a sfere	Harmonic Drive
	Metodo di trasmissione	Dal motore al riduttore di velocità	Accoppiamento diretto		Trasmissione con cinghia di distribuzione
		Dal riduttore di velocità all'uscita	Accoppiamento diretto		Trasmissione con cinghia di distribuzione

Figura 35 - Datasheet dello SCARA R6-YXX-1200

Lo *Scara R6-YXGP-1000* (*Figura 34*) ha una capacità di carico (18 kg) superiore alle nostre esigenze, presenta un indice di ripetibilità elevato (+/- 0.02 mm), ma ha un raggio di azione insufficiente.

Lo *Scara R6-XXX-1200* (*Figura 35*) ha una capacità di carico (50 kg) decisamente superiore rispetto alle nostre esigenze, presenta un indice di ripetibilità soddisfacente

(+/- 0.05 mm), ma ha un raggio di azione inferiore (1200 mm) rispetto alle caratteristiche dell'area di lavoro da asservire.

L'*antropomorfo* della Omron più interessante è il *Viper-850* (Figura 36): esso è dotato di 6 assi di rotazione (il sesto asse, anche in questo caso, rappresenta l'asse di rotazione del mandrino), che gli permettono di raggiungere tutti i punti all'interno della sua sfera di lavoro.



Product name		Viper		
		850		
Size		Standard	Cleanroom	IP54/65
Cleanroom/IP				
Model		1720□-38000	1720□-38020	1720□-38010
Mounting		Table/Floor/Inverted		
Number of axes		6		
Reach		855 mm		
Maximum Payload		5 kg		
Repeatability	XYZ	±0.03 mm		
Joint Range	Joint 1	±170°		
	Joint 2	-190°, +45°		
	Joint 3	-29°, +256°		
	Joint 4	±190°		
	Joint 5	±120°		
	Joint 6	±360°		
Inertia Moment (Max.)	Joint 4	0.295 kgm ²		
	Joint 5	0.295 kgm ²		
	Joint 6	0.045 kgm ²		
Joint Speeds	Joint 1	250°/s		
	Joint 2	250°/s		
	Joint 3	250°/s		
	Joint 4	375°/s		
	Joint 5	375°/s		
	Joint 6	600°/s		

Figura 36 - Viper-850 della Omron e sua scheda tecnica

Come si può notare, tale robot risulta essere inadatto, sia per capacità di carico (quella massima è di 5 kg), che per raggio di azione (855 mm).

Consideriamo, a questo punto, l'Antropomorfo della ABB di classe IRB 1600, anch'esso dotato di sei assi di rotazione (vedi Figura 37):

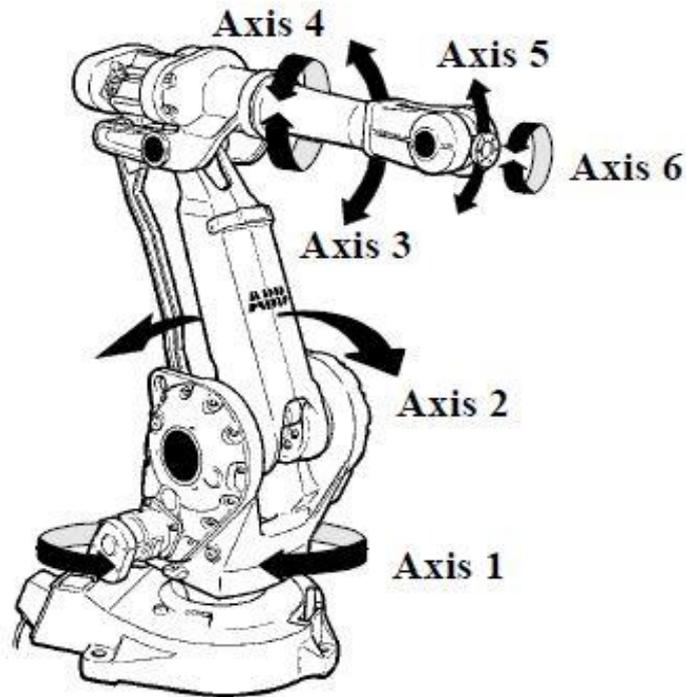


Figura 37 - Assi di rotazione di un robot antropomorfo della classe IRB 1600

È necessario, ora, andare a valutare le capacità di carico e di raggiungibilità di tale robot (Figura 38):

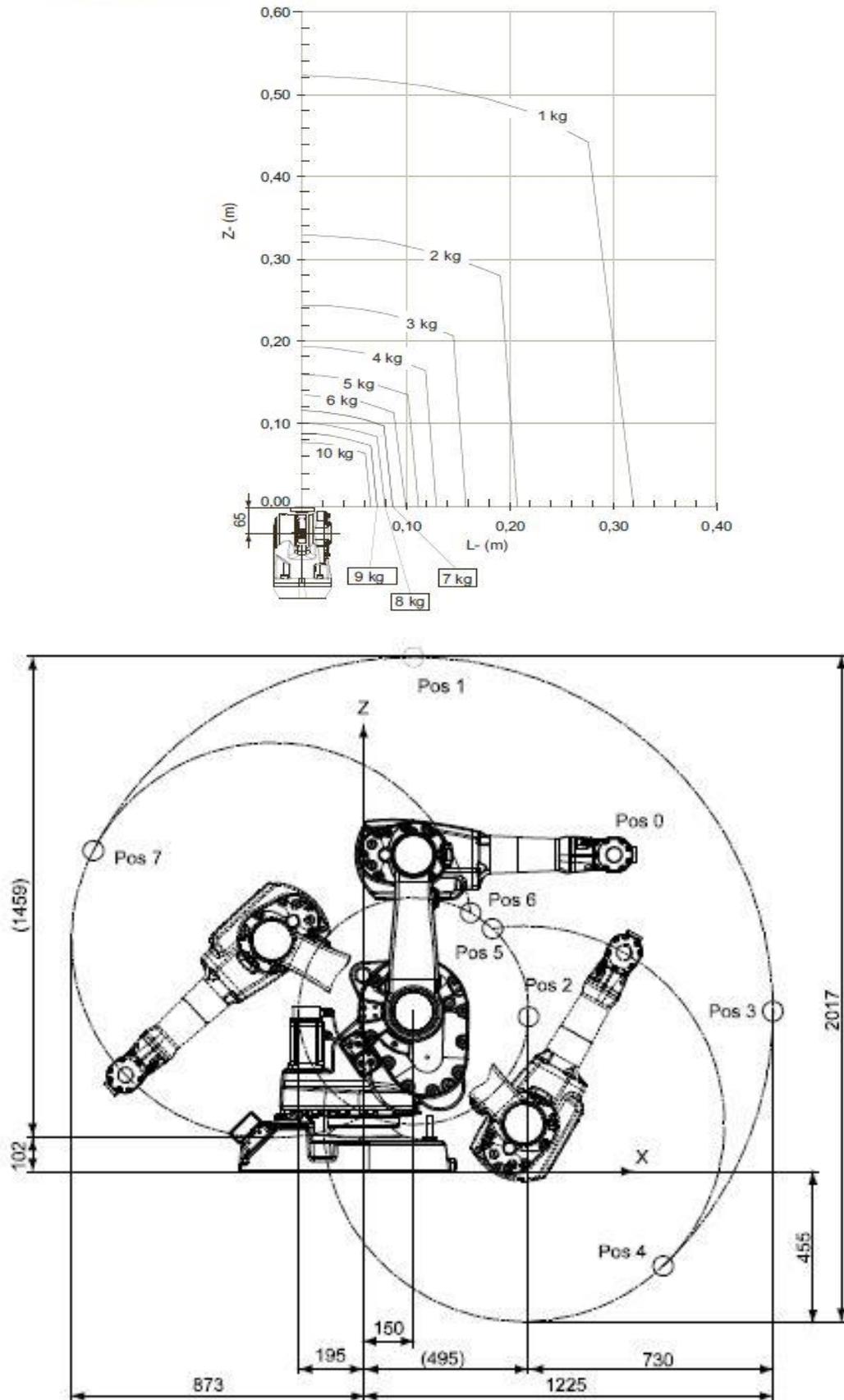


Figura 38 – Capacità di carico e raggiungibilità dell'IRB 1600-10/1.2 dell'ABB

Come si evince dal diagramma della capacità di carico, all'aumentare della distanza, diminuisce il massimo peso sostenibile. In ogni caso, l'*antropomorfo IRB 1600-10/1.2* verificherebbe le nostre esigenze di carico (10 kg) e di raggiungibilità (circa 2000 mm).

Viene proposto, infine, il *collaborativo della Universal Robots*, anch'esso dotato di sei assi di rotazione (come in *Figura 39*): in particolare, verrà analizzato il modello *UR10-e*.



Figura 39 – Collaborativo UR10-e della Universal Robots

Il vantaggio di tale tipologia di robot è che presenta un ingombro alla base molto ridotto; il carico al polso, del suddetto modello, è pari a 10 kg, mentre il suo raggio d'azione è di 1300 mm, sufficiente per i nostri scopi. Inoltre, anche da un punto di vista relativo alla sicurezza, presenta un meccanismo che lo spinge a fermarsi in automatico, qualora dovesse incontrare, accidentalmente, un ostacolo umano lungo il suo percorso. Per tali motivi, viene considerato il manipolatore maggiormente idoneo ai nostri scopi. Di seguito viene riportata la sua scheda tecnica (*Figura 40*):

UR10e	
Prestazioni	
Consumo di corrente	Circa 400 W con un programma tipico
Funzionamento collaborativo	17 funzioni di sicurezza regolabili avanzate, tra cui il monitoraggio del gomito robot. Comandi in remoto secondo la norma ISO10218
Certificazioni	EN ISO13849-1, Cat 3, PLd, e EN ISO 10218-1
Sensore F/T - Forza , x-y-z	
Intervallo	100 N
Risoluzione	2,0 N
Accuratezza	5,5 N
Sensore F/T - Coppia, x-y-z	
Intervallo	10 Nm
Risoluzione	0,02 Nm
Accuratezza	0,60
Intervallo temperatura ambiente	0-50°C
Umidità	90%RH (senza condensa)
Specifiche	
Carico utile al polso	10 kg / 22 lbs
Sbraccio	1300 mm / 51,2 in
Gradi di libertà	6 giunti rotanti DOF
Programmazione	Interfaccia grafica utente Polyscope su schermo tattile da 12 pollici con supporto.

Figura 40 - Scheda tecnica del modello UR10-e della Universal Robots

Nella zona finale di montaggio, il robot antropomorfo già presente sarà dotato di un utensile con, da un lato, le spine di riferimento e le piastre per il montaggio del *gripper* di presa dei vari coperchi e, dall'altro, l'innesto dell'attrezzo atto a facilitare ed a ridurre i tempi del montaggio. I *gripper* di presa possono essere uno o più: in quest'ultimo caso, essi dovranno essere sostituiti mediante un cambio utensile automatico (come quello di tipo *Schunk quick change* mostrato in *Figura 32*).

L'intera soluzione proposta, con tutte le modifiche analizzate, viene evidenziata nella *Figura 41*, di seguito riportata:

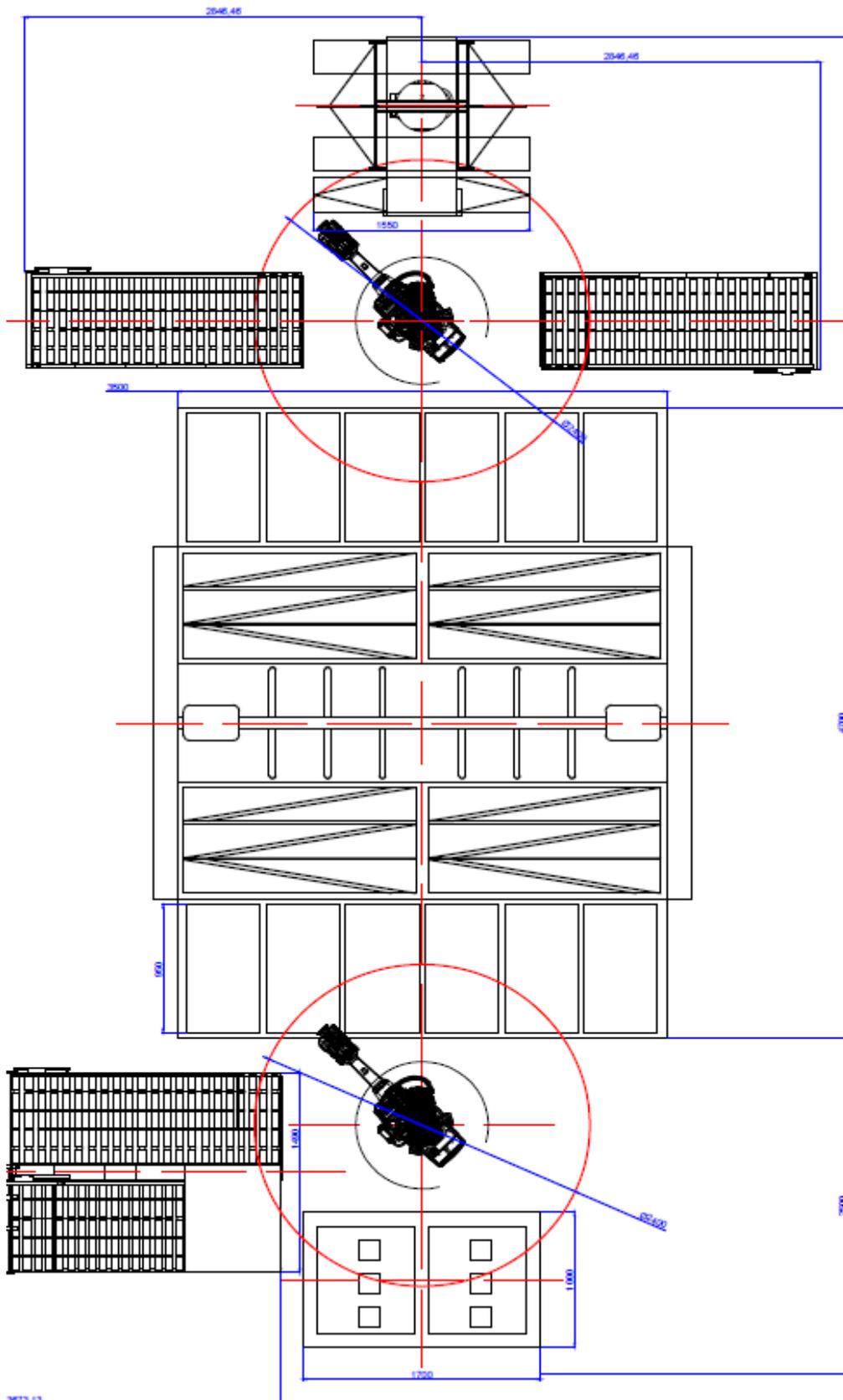


Figura 41- Planimetria proposta B

3.3 Analisi tecnica proposta C

Nella terza proposta di innovazione, si è pensato di modificare completamente il *layout* di processo, inserendo un unico *robot antropomorfo*, dotato di elevato raggio d'azione ed elevata capacità di carico. Su tale robot, in corrispondenza della flangia dell'asse 6, verrà montato un *doppio utensile*: il primo presenterà l'alloggiamento per l'ugello di inserimento della guarnizione e l'innesto dell'attrezzo atto a facilitare il montaggio; sul secondo utensile, invece, saranno montate le spine di riferimento e le piastre atte al montaggio del *gripper* di presa dei vari coperchi. Anche in questo caso, si può optare per una soluzione a più *gripper* dedicati, da sostituire tramite un cambio utensile automatico (tipo *Schunk quick change* in *Figura 32*).

In questo nuovo *layout*, il robot antropomorfo dovrà eseguire due operazioni di trasporto: l'operazione di inserimento della guarnizione e l'operazione di montaggio. Si avranno, quindi, valori di saturazione molto più elevati rispetto ai casi precedenti.

In base alla planimetria di processo, alle dimensioni dei macchinari impiegati ed alle dimensioni e pesi dei prodotti da manipolare, la scelta del robot da utilizzare è ricaduta su di un componente in grado di avere una capacità di carico pari, almeno, a 15 kg ed un raggio di azione minimo di 1500 mm: si è optato, quindi, per un *antropomorfo IRB 2400* della *ABB*. La classe *IRB 2400* della *ABB* prevede due diverse versioni:

- 2400/10;
- 2400/16.

Dopo aver analizzato la sfera di lavoro (uguale per entrambi i robot) in *Figura 42* ed i rispettivi diagrammi di carico (*Figura 43* e *Figura 44*), la scelta che più si avvicina alle esigenze della nuova linea di processo, è risultata essere la seconda, ovvero un robot antropomorfo della *ABB* classe *IRB 2400* con capacità di carico massima pari a 16 kg.

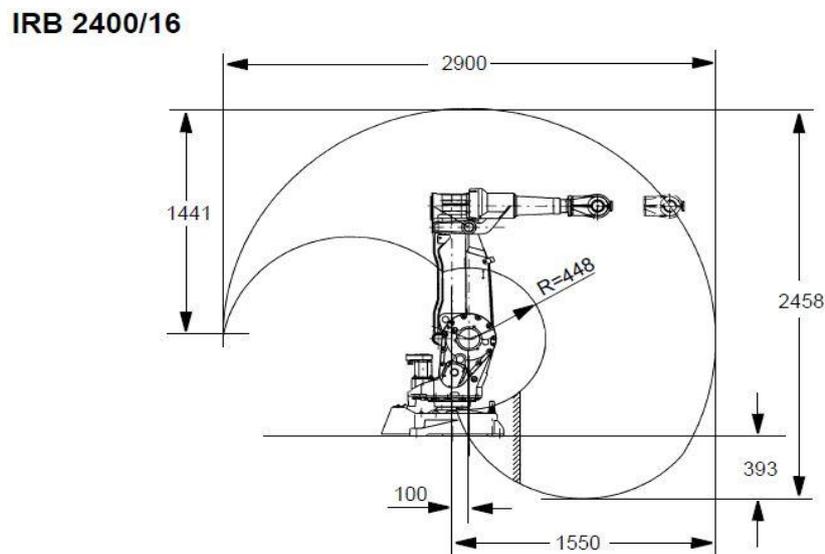


Figura 42 - Sfera di lavoro del robot ABB classe IRB 2400/16

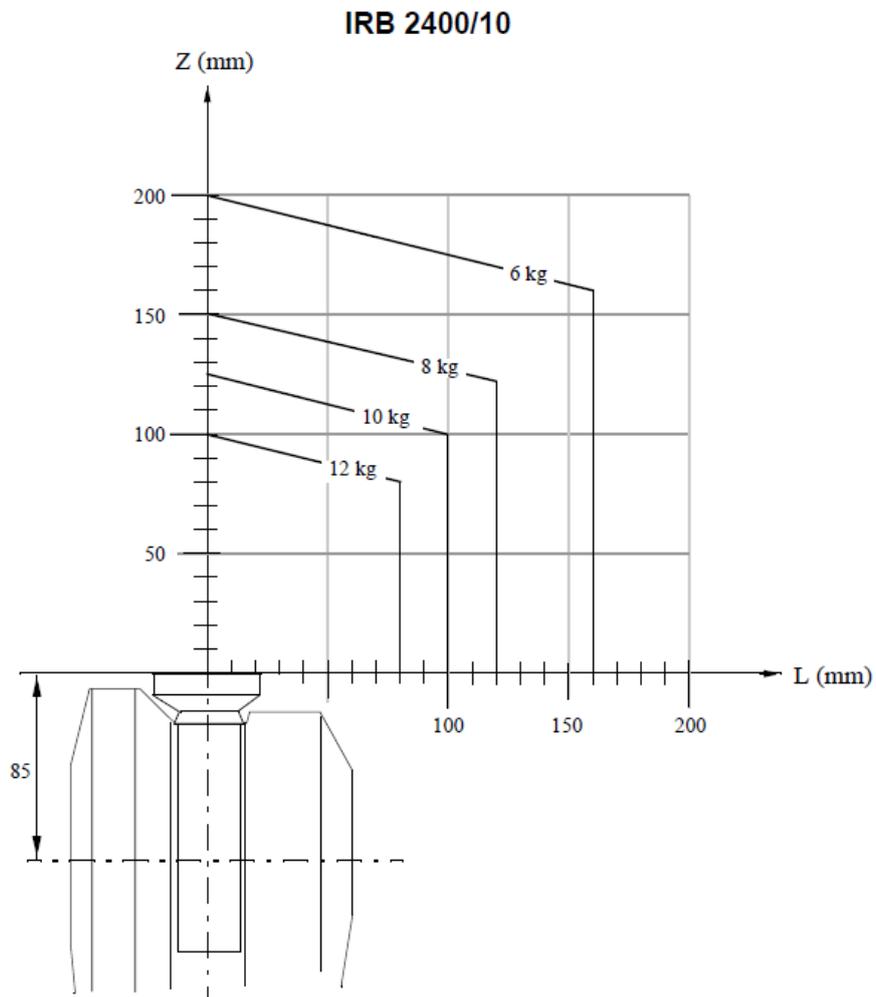


Figura 43- Diagramma di carico del robot IRB 2400/10 dell'ABB (L, Z distanze dell'utensile dalla flangia mandrino)

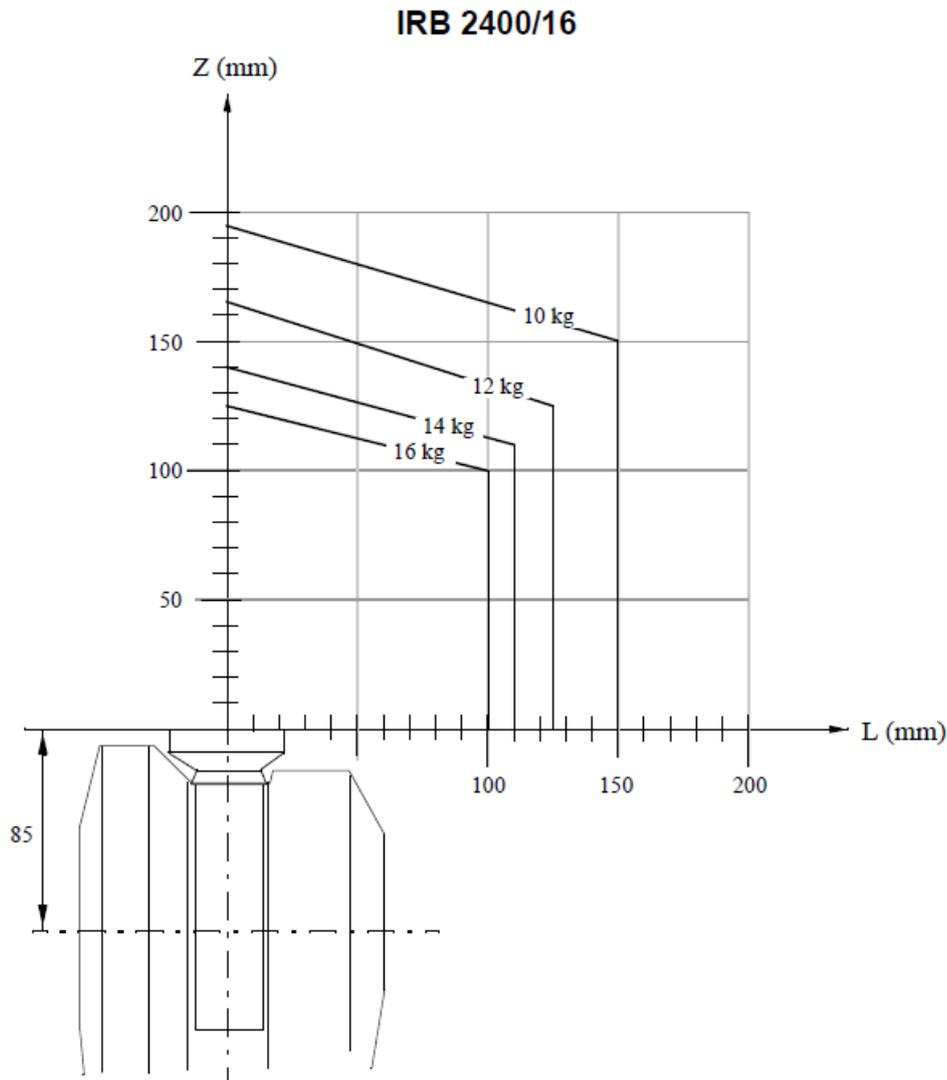


Figura 44- Diagramma di carico del robot IRB 2400/16 (L, Z distanze dell'utensile dalla flangia mandrino)

Al fine di utilizzare un unico *robot* per le lavorazioni, è necessario modificare la struttura dell'attuale linea di produzione: le varie stazioni di lavoro, infatti, saranno ravvicinate e disposte in sequenza, così da garantire la minor movimentazione possibile. Secondo tali logiche, è possibile schematizzare due differenti disposizioni: nella prima, verrebbe modificata e trasferita la zona di assemblaggio (con i nastri di evacuazione disposti accanto al magazzino verticale e leggermente distanziati dalla tavola rotante in cui avviene l'assemblaggio, proposta *C.1*), mentre nella seconda verrebbe, invece, trasferito anche il magazzino verticale (proposta *C.2*). Da un punto di vista puramente tecnico, il risultato finale non cambierebbe, in quanto non andrebbe ad incidere sulle lavorazioni effettuate, ma, da un punto di vista squisitamente economico, il costo dello spostamento di un magazzino verticale risulta essere notevolmente più gravoso. In ogni caso, vengono riportate entrambe le planimetrie proposte, nelle *Figure 45 e 46*.

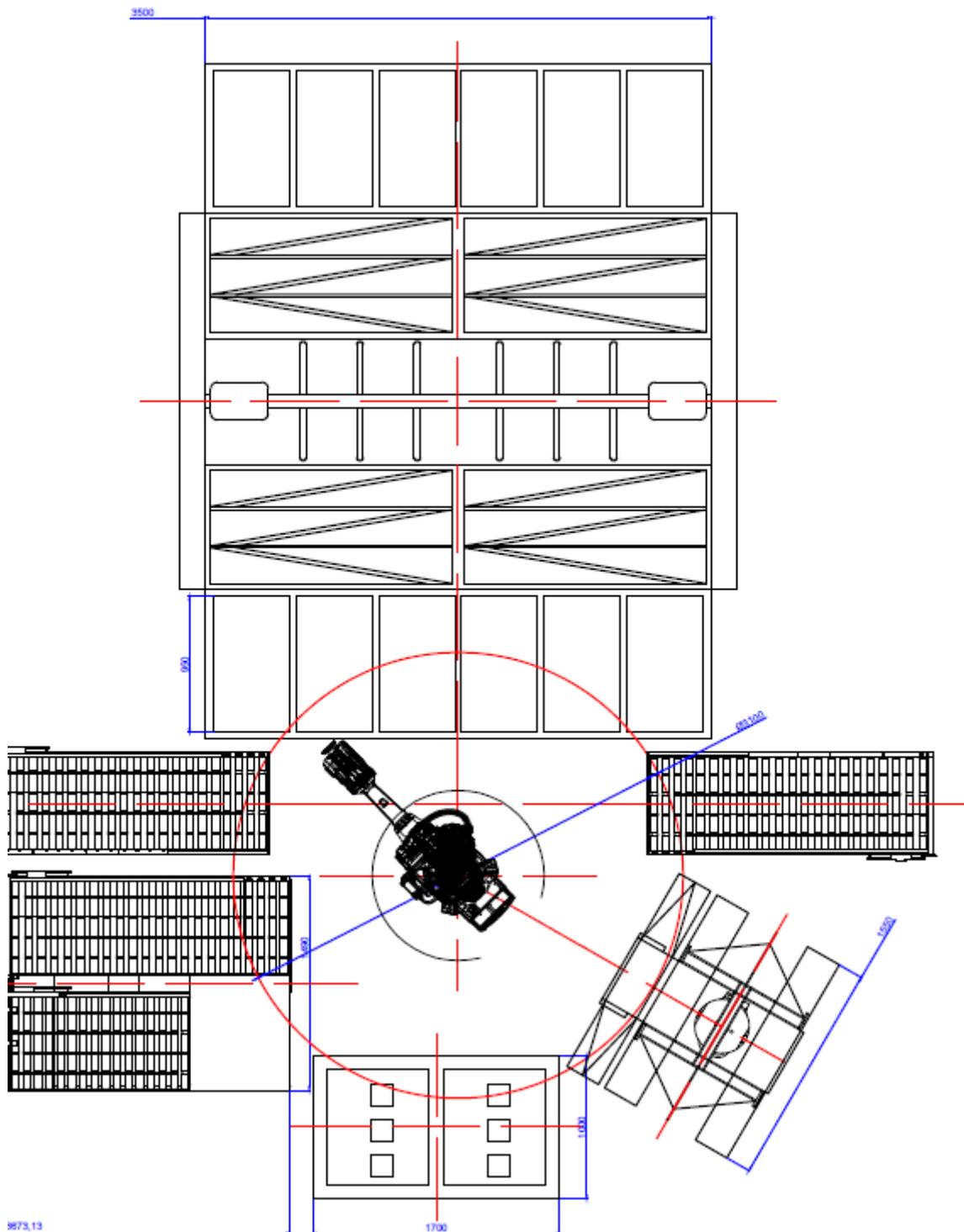


Figura 45- Planimetria proposta C.1: un solo robot al centro con trasferimento della zona d'assemblaggio

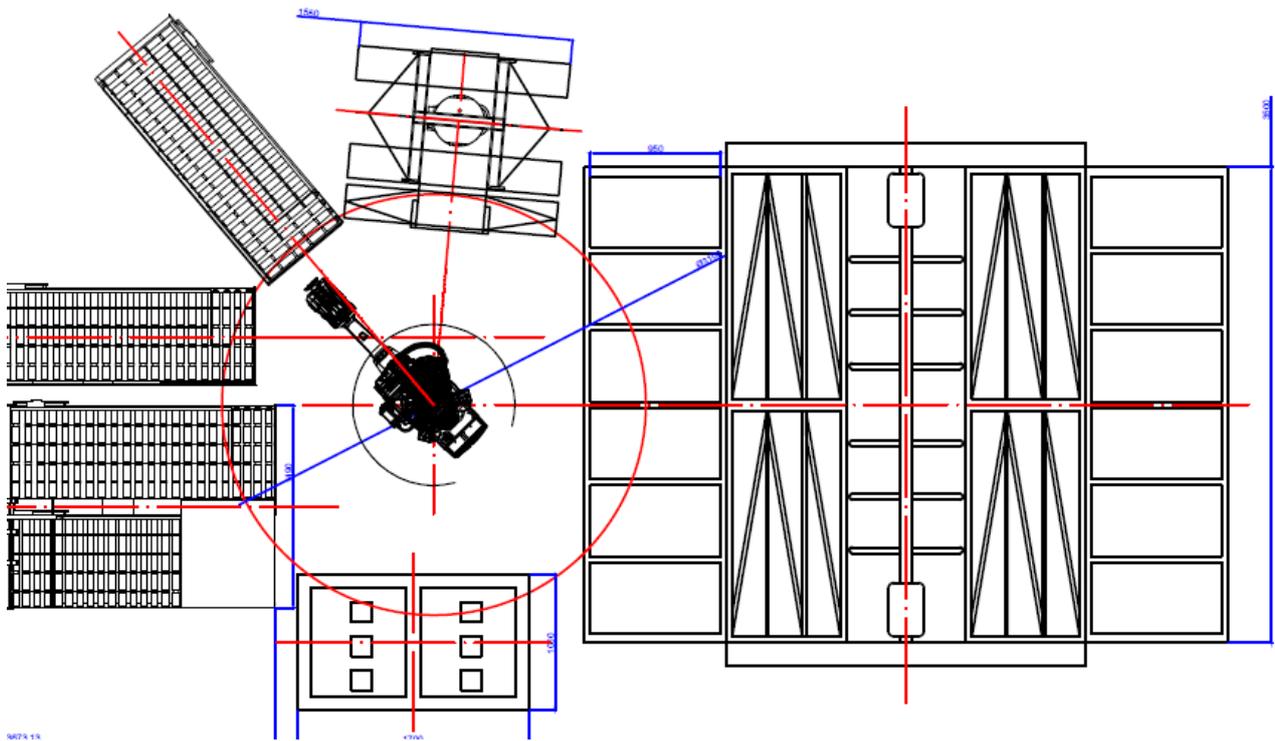


Figura 46 – Planimetria proposta C.2: un solo robot al centro con trasferimento della zona di assemblaggio e del magazzino verticale

***CAPITOLO 4 – COMPARAZIONE E VALUTAZIONE TECNICO-
ECONOMICA DELLE PROPOSTE EFFETTUATE***

4.1 Aspetti tecnici ed economici dell'attuale linea di produzione

Prima di andare ad effettuare l'analisi critica delle scelte effettuate, risulta opportuno andare ad evidenziare quelli che sono gli aspetti tecnici ed economici dell'attuale linea di produzione e di assemblaggio e che verranno utilizzati come termine di confronto.

Numero pallet:	10,00
Cassetti magazzino: (max 500)	24,00
Tempo di centraggio unità di lavoro [sec]:	15,00
Velocità avanzamento nastro [m/s]:	0,50
Tempo di attesa dopo l'erogazione guarnizione [sec]:	2,00
Tempo carico/scarico unità di lavoro nel magazzino [sec]:	35,00
Tempo soglia per lo spurgo [sec]:	5,00
Tempo massimo per lo spurgo [sec]:	30,00
Tempo attesa nel magazzino [ore]:	24,00
Tempo movimentazione robot alimenta guarnizione [sec]:	10,00
Tempo movimentazione robot alimenta assemblaggio [sec]:	10,00

Figura 47 – Dati attuale linea di produzione

Modello coperchio	Lunghezza [cm]	Larghezza [cm]	Altezza [cm]	T_erogazione_guarnizione [secondi]	T_assemblaggio_finale_media [secondi]	T_assemblaggio_finale_sigma [secondi]	T_attesa_fine_stampa_invio_pila [min]
Mod.1908	21,6	18,0	2,0	4,0	150,0	30,0	180,0
Mod.1913	21,6	18,0	2,0	4,0	150,0	30,0	180,0
Mod.2209	24,6	21,5	2,0	5,0	150,0	30,0	180,0
Mod.2214	24,6	21,5	2,0	5,0	150,0	30,0	180,0
Mod.2712	30,5	27,0	3,5	8,0	150,0	30,0	180,0
Mod.2717	30,5	27,0	3,5	8,0	150,0	30,0	180,0
Mod.3317	36,0	30,4	6,8	11,0	150,0	30,0	180,0
Mod.3818	41,0	34,0	4,5	12,0	150,0	30,0	180,0
Mod.4412	47,4	41,5	4,7	14,0	150,0	30,0	180,0
Mod.15416	162,9	45,6	18,3		200,0	30,0	180,0

Figura 48 – Tempi di lavorazione dell'attuale linea di produzione (dati coperchio)

Come si può notare dalla *Figura 48*, analizzando i tempi di lavorazione appare chiaro che ciò che incide maggiormente sul tempo ciclo totale, esclusi, ovviamente, i tempi tecnici di attesa dovuti al tempo di attesa tra la fine dello stampaggio e l'invio della

pila al nastro trasportatore ed a quello relativo all'assestamento della guarnizione all'interno del magazzino verticale, è rappresentato dal *tempo medio di assemblaggio finale* (150 secondi), operazione che, al momento, viene svolta in maniera totalmente manuale e che rappresenta, quindi, il *collo di bottiglia* dell'attuale linea di produzione.

Nella *Figura 49*, sono, invece, state calcolate le velocità di inserimento della guarnizione: tale operazione si è resa necessaria, dal momento che, per uno dei modelli oggetto di studio (*Mod.15416*), non erano note le tempistiche di erogazione della guarnizione, necessarie per andare a calcolare il tempo totale di attraversamento della linea ed il tempo ciclo del singolo prodotto.

Modello coperchio	Perimetro [cm]	velocità di inserimento della guarnizione [mm/s]	velocità media di inserimento della guarnizione [mm/s]
Mod.1908	79,20	198,00	158,34
Mod.1913	79,20	198,00	
Mod.2209	92,20	184,40	
Mod.2214	92,20	184,40	
Mod.2712	115,00	143,75	
Mod.2717	115,00	143,75	
Mod.3317	132,80	120,73	
Mod.3818	150,00	125,00	
Mod.4412	177,80	127,00	
Modello coperchio	Perimetro [cm]	velocità di inserimento della guarnizione [mm/s]	
Mod.15416	417,00	158,34	
Modello coperchio	Perimetro [cm]	T_ erogazione_ guarnizione [secondi]	
Mod.15416	417,00	26,34	

Figura 49 – Calcolo velocità e tempo di erogazione della guarnizione Mod.15416

Nella *Figura 50*, vengono riportati il *tempo totale di attraversamento della linea* ed il *tempo ciclo del singolo prodotto*. Il tempo di attesa di fine stampa, con successivo invio al nastro trasportatore, viene bilanciato dalla presenza della zona di impilaggio. Il tempo ciclo viene posto pari al tempo di lavorazione della stazione più lenta (collo di bottiglia): esso è, quindi, governato dal tempo di assemblaggio finale.

Modello coperchio	T_attesa_fine_stampa_invio_pila [min]	T_erogazione_guarnizione [secondi]	T_assemblaggio_finale_media [secondi]	T_attraversamento_linea [minuti]	T_ciclo_singolo_prodotto [secondi]
Mod.1908	180	4,00	150,00	182,57	150,00
Mod.1913	180	4,00	150,00	182,57	150,00
Mod.2209	180	5,00	150,00	182,58	150,00
Mod.2214	180	5,00	150,00	182,58	150,00
Mod.2712	180	8,00	150,00	182,63	150,00
Mod.2717	180	8,00	150,00	182,63	150,00
Mod.3317	180	11,00	150,00	182,68	150,00
Mod.3818	180	12,00	150,00	182,70	150,00
Mod.4412	180	14,00	150,00	182,73	150,00
Mod.15416	180	26,34	200,00	183,77	200,00

Figura 50 – Tempo ciclo dell’attuale linea di produzione

Per quanto riguarda l’aspetto economico, si fa presente, sin da adesso, che i costi annuali evidenziati, ad eccezione dei prezzi di vendita dei modelli oggetto di studio, pubblicati *online*, sono puramente indicativi, dal momento che, per ragioni di *privacy*, non è possibile riportare i dati effettivi dell’azienda analizzata.

I **costi di esercizio** sono stati suddivisi in:

- a) *costi fissi*;
- b) *costi variabili*;
- c) *costi semivariabili*.

I *costi fissi* sono costi di esercizio indipendenti dal volume produttivo: essi comprendono tutte quelle spese che rimangono inalterate, al variare del livello di produzione. Le voci più rilevanti, in questo contesto, sono le seguenti: *spese generali* (*assicurazioni, telefoni, etc.*), *spese per il personale tecnico amministrativo, affitti, ammortamenti*. I costi di esercizio fissi vengono sostenuti periodo per periodo, indipendentemente dal livello di attività degli impianti, quindi anche se questi rimangono inattivi.

I *costi variabili* comprendono tutte quelle spese di esercizio dell’impianto il cui livello dipende dal volume di produzione (*materie prime, componenti, energia, etc.*): essi possono avere andamenti diversi dal momento che non è detto che aumentino linearmente con l’aumentare della quantità di prodotti realizzati.

I *costi semivariabili*, infine, sono legati non solo al volume di produzione, ma anche a fattori fissi: essi, praticamente, conservano una parte fissa, indipendente dal volume produttivo, ed un’altra variabile, dipendente dalla quantità di prodotti realizzati. Generalmente, sono legati a costi di *manutenzione straordinaria e manodopera* (in

base al tipo di contratto oppure ad ore di straordinario). Tuttavia, ai fini della trattazione, tali costi non verranno presi in considerazione, dal momento che non sono comuni.

In *Figura 51* vengono riportati i costi di esercizio dell'attuale processo produttivo:

COSTI DI ESERCIZIO ANNUO (x 1000 €)			
COSTI VARIABILI		COSTI FISSI	
Materie prime	50,00	Attrezzature speciali dedicate	5,00
Costi trasporto	12,00	Manodopera diretta	168,96
Materiali imballaggio	15,00	Ammortamento macchinario dedicato	3,00
Costo energia	6,48	Manodopera indiretta	60,00
Materiali ausiliari	5,00	Spese generali	20,00
Manutenzione	4,00	Ammortamento macchinario comune	1,50
	92,48		258,46
		COSTO TOTALE ANNUO	350,94

Figura 51 – Costi di esercizio annuo dell'attuale configurazione

Come si può notare, le colorazioni, all'interno delle singole tabelle, sono diverse. Tale scelta è stata effettuata per evidenziare le differenze tra *costi diretti* (in grigio) e *costi indiretti* (in azzurro): i primi rappresentano quei costi che possono essere facilmente attribuibili ad un'entità, mentre i secondi sono quei costi che non possono essere imputabili direttamente ad uno stabilimento, ad un reparto, ad un processo oppure ad un prodotto.

Di particolare importanza, risulta essere la voce relativa all'*ammortamento*: esso, infatti, non costituisce, per l'azienda, un reale esborso finanziario. Non è un flusso finanziario da sostenere, ma solo un'imputazione, ai fini economici e fiscali, di una quota annua del costo già sostenuto all'atto di acquisizione di un bene strumentale: quest'ultimo, infatti, è caratterizzato dal fatto che il proprio utilizzo e sfruttamento non si esaurisce all'interno di un singolo esercizio dell'impresa, ma si distribuisce su più anni di vita utile dell'impianto. L'ipotesi di fondo è che, al termine della vita utile del bene, l'azienda ne acquisterà uno nuovo di pari valore (anche se ciò non è totalmente

veritiero, dal momento che bisogna tener conto anche dell'evoluzione tecnologica del suddetto bene).

Vengono, poi, riportati, in *Figura 52*, i dati relativi alla *produttività* (numero di pezzi prodotti in un'ora), alla *dimensione del lotto* (numero di pezzi da produrre per ogni singolo lotto di produzione), ai *giorni di produzione* (ovvero al tempo "effettivo" necessario per il completamento del lotto, che tiene conto solo delle stazioni di lavoro), al *prezzo di vendita* del singolo modello, oltre al *valore complessivo* dello stesso, ottenuto moltiplicando la dimensione del lotto per il prezzo di vendita. Inoltre, viene indicata la *somma algebrica dei giorni di produzione*, necessari al completamento dell'intera gamma di prodotti considerati ed il suo *valore*.

MODELLO COPERCHIO	PRODUTTIVITA' LINEA ESISTENTE [pz/h]	DIMENSIONE LOTTO	GIORNI DI PRODUZIONE [day]	PREZZO DI VENDITA [€]	VALORE COMPLESSIVO DEL SINGOLO MODELLO [€]
Mod.1908	48,00	40	0,10	50	2000,80
Mod.1913	48,00	140	0,36	54	7548,80
Mod.2209	48,00	120	0,31	56	6690,00
Mod.2214	48,00	160	0,42	63	10091,20
Mod.2712	48,00	200	0,52	85	17032,00
Mod.2717	48,00	120	0,31	97	11640,00
Mod.3317	48,00	200	0,52	141	28200,00
Mod.3818	48,00	160	0,42	168	26880,00
Mod.4412	48,00	100	0,26	202	20200,00
Mod.15416	36,00	40	0,14	507	20280,00
SOMMA ALGEBRICA DEI GIORNI DI PRODUZIONE DELL'INTERA GAMMA			3,54		
VALORE DELL'INTERA GAMMA DI PRODOTTI (€)				150563	

Figura 52 – Produttività e prezzi di vendita nella configurazione attuale

Nella *Figura 53*, infine, vengono individuati i *giorni necessari al completamento dell'intera gamma di produzione*, i *giorni lavorativi annui*, il *fatturato annuo* della linea esistente (calcolato come prodotto del rapporto, tra i giorni lavorativi annui ed i giorni necessari al completamento dell'intera gamma, moltiplicato per il valore dell'intera gamma di prodotti) ed il *marginale lordo* della linea esistente (dato dal fatturato annuo meno il costo totale annuo della linea).

GIORNI NECESSARI PER COMPLETARE L'INTERA GAMMA DI PRODUZIONE [day]	GIORNI LAVORATIVI ANNUI [day/year]	FATTURATO ANNUO DELLA LINEA ESISTENTE [x 1000€]
4,0	220	8280,95

MARGINE LORDO DELLA LINEA ESISTENTE [x 1000€]
7930,0

Figura 53 – Fatturato e margine lordo nell'attuale configurazione

presa), dall'altro porterà ad una notevole *riduzione* del costo della *manodopera diretta*, dal momento che verrà ridotto il numero di operai per ogni turno (da 4 a 3): tale situazione è legata alla sostituzione dell'operatore carrellista col sistema automatico di magazzino e tavola rotante.

COSTI DI ESERCIZIO (x 1000 €)			
COSTI VARIABILI		COSTI FISSI	
Materie prime	50,00	Attrezzature speciali dedicate	7,00
Costi trasporto	12,00	Manodopera diretta	126,72
Materiali imballaggio	15,00	Ammortamento macchinario dedicato	5,00
Costo energia	8,45	Manodopera indiretta	60,00
Materiali ausiliari	5,00	Spese generali	20,00
Manutenzione	4,00	Ammortamento macchinario comune	1,50
	94,45		220,22
		COSTO TOTALE ANNUO	314,67

Figura 55 – Costi di esercizio annui relativi alla proposta A

In conclusione, è possibile ritenere tale scelta sicuramente conveniente da un punto di vista economico poiché l'investimento cospicuo effettuato sarebbe ripianato interamente dal *ridotto costo totale annuo* (circa il 10% in meno rispetto a quello attuale).

4.3 Comparazione e valutazione tecnico-economica della proposta B

Per ciò che concerne la valutazione della soluzione **B**, risulta fondamentale anche un discorso tecnico, oltre che economico: in tal caso, infatti, come da *Figura 56*, è evidente la *riduzione del tempo ciclo* del singolo prodotto: ciò comporta la possibilità di terminare la produzione in un periodo di tempo inferiore (*Figura 57*), dal momento che la riduzione principale avverrà nella zona di assemblaggio, in cui ad un operatore manuale verrà affiancato un manipolatore.

Da quanto appena detto, è evidente come tale soluzione comporti un aumento del tasso di saturazione di entrambi i manipolatori presenti, dal momento che essi saranno costretti a svolgere un numero di attività maggiori: ciò costituisce sicuramente un vantaggio, dal momento che verrebbero ridotti al minimo i tempi morti, tuttavia esiste il rischio di una più veloce usura delle macchine utilizzate.

Modello coperchio	T_attesa_fine_stampa[min]	T_trasporto_nastro[sec]	T_movimentazione_robot_01 [sec]	T_centatura_pezzi[sec]	T_erogazione_guarnizione [sec]	T_attesa_post_erogazione[sec]	T_movimentazione_robot_02 [sec]	T_assemblaggio_chiusure_clip[sec]	T_attraversamento_linea [min]	T_ciclo_singolo_prodotto [sec]
Mod.1908	180	4,00	10,00	15,00	4,00	2,00	10,00	22,00	181,12	22,00
Mod.1913	180	4,00	10,00	15,00	4,00	2,00	10,00	22,00	181,12	22,00
Mod.2209	180	4,00	10,00	15,00	5,00	2,00	10,00	22,00	181,13	22,00
Mod.2214	180	4,00	10,00	15,00	5,00	2,00	10,00	22,00	181,13	22,00
Mod.2712	180	4,00	10,00	15,00	8,00	2,00	10,00	22,00	181,18	22,00
Mod.2717	180	4,00	10,00	15,00	8,00	2,00	10,00	22,00	181,18	22,00
Mod.3317	180	4,00	10,00	15,00	11,00	2,00	10,00	22,00	181,23	22,00
Mod.3818	180	4,00	10,00	15,00	12,00	2,00	10,00	22,00	181,25	22,00
Mod.4412	180	4,00	10,00	15,00	14,00	2,00	10,00	22,00	181,28	22,00
Mod.15416	180	4,00	10,00	15,00	26,34	2,00	10,00	46,00	181,89	46,00

Figura 56 – Tempi di produzione proposta B

MODELLO COPERCHIO	PRODUTTIVITA' LINEA IMPLEMENTATA [pz/h]	DIMENSIONE LOTTO	GIORNI DI PRODUZIONE [day]
Mod.1908	163,64	40	0,03
Mod.1913	163,64	140	0,11
Mod.2209	163,64	120	0,09
Mod.2214	163,64	160	0,12
Mod.2712	163,64	200	0,15
Mod.2717	163,64	120	0,09
Mod.3317	163,64	200	0,15
Mod.3818	163,64	160	0,12
Mod.4412	163,64	100	0,08
Mod.15416	78,26	40	0,06
SOMMA ALGEBRICA DEI GIORNI DI PRODUZIONE DELL'INTERA GAMMA			1,05

Figura 57 – Produttività proposta B

Andiamo ora ad effettuare la valutazione e l'eventuale convenienza economica di quanto descritto. Nei costi di installazione, in questo caso, entreranno in gioco due nuovi robot antropomorfi *UR-10e* della *Universal Robots*, uno nella zona di erogazione della guarnizione e l'altro nella zona di assemblaggio. Il primo robot sarà dotato di un doppio *gripper*: uno è necessario per la presa del coperchio dal nastro trasportatore ed il trasferimento dello stesso, prima alla postazione di erogazione guarnizione, poi, da questa, al magazzino verticale; l'altro, invece, servirà per erogare la guarnizione alle varie tipologie di coperchio, oggetto di lavorazione.

Il secondo manipolatore sarà dotato di un unico *gripper*, dotato di cambio utensile, con l'ausilio del quale, esso sarà sia in grado di effettuare le operazioni di movimentazione necessarie al trasferimento dei pezzi dal magazzino alla tavola rotante di assemblaggio e da quest'ultima ai rispettivi nastri di evacuazione dei prodotti finiti, che di svolgere parte delle operazioni di assemblaggio.

COSTI DI INSTALLAZIONE (x 1000 €)	
Robot antropomorfo 01	30,00
Robot antropomorfo 02	30,00
Doppio gripper (robot 01)	18,00
Gripper (robot 02)	8,00
	86,00

Figura 58 – Costi di installazione proposta B

Rispetto alla precedente proposta, il *costo dell'energia* sarà *inferiore*, dato che la potenza richiesta è diminuita non essendoci più il magazzino iniziale, mentre gli altri costi saranno invariati, dato che in questo caso verrebbe “risparmiato” un operatore manuale in zona di assemblaggio.

Il *costo totale annuo* subirà una *diminuzione*, in questo caso, di circa l'11%. In definitiva, anche tale soluzione comporterebbe benefici economici nel lungo periodo, a fronte, però, di un investimento quasi raddoppiato rispetto alla scelta precedente.

COSTI DI ESERCIZIO (x 1000 €)			
COSTI VARIABILI		COSTI FISSI	
Materie prime	50,00	Attrezzature speciali dedicate	7,00
Costi trasporto	12,00	Manodopera diretta	126,72
Materiali imballaggio	15,00	Ammortamento macchinario dedicato	5,00
Costo energia	7,06	Manodopera indiretta	60,00
Materiali ausiliari	5,00	Spese generali	20,00
Manutenzione	4,00	Ammortamento macchinario comune	1,50
	93,06		220,22
		COSTO TOTALE ANNUO	313,28

Figura 59 – Costi di esercizio annui proposta B

4.4 Comparazione e valutazione tecnico-economica della proposta C

La proposta C, in termini tecnici, comporta gli stessi vantaggi di quella esaminata nel paragrafo precedente, dal momento che, anch'essa garantisce una notevole riduzione dei tempi; la sola differenza riguarda il fatto che, mentre la riduzione della precedente soluzione era legata alla presenza di due manipolatori, in questo caso il robot utilizzato è solo uno (l'*IRB 2400/16* della *ABB*).

In base a tale tipologia di proposta, il manipolatore utilizzato sarebbe totalmente saturo, con gli stessi vantaggi e svantaggi esaminati precedentemente: esso svolgerebbe **TUTTE** le operazioni della linea produttiva, dalla movimentazione tra le singole stazioni all'erogazione della guarnizione.

Per quanto riguarda l'aspetto economico di tale scelta, risulta opportuno effettuare delle riflessioni: la nuova disposizione ravvicinata delle stazioni di lavoro, infatti, comporta delle notevoli modifiche strutturali. A tal proposito, sono state presentate due alternative: la prima (**Proposta C.1**) prevede lo spostamento della zona di assemblaggio, comprensiva di tavola rotante e nastri di evacuazione; la seconda (**Proposta C.2**), invece, comporterebbe anche lo spostamento del magazzino verticale. In quest'ultimo caso, risulta necessario l'acquisto di un *nuovo magazzino verticale*, dal momento che, nell'attuale disposizione i prodotti entrano da un lato d'ingresso ed escono dall'altro. Nel caso, invece, della proposta C.2, bisognerebbe utilizzare un magazzino in cui entrata ed uscita siano dalla stessa parte per permettere le dovute movimentazioni al manipolatore centrale. Inoltre, sarebbe necessario uno spostamento della tavola rotante e dei nastri di evacuazione, con conseguente aumento dei costi di trasporto dovuti a tale modifica.

L'investimento iniziale, dovuto ai *costi d'installazione*, risulta essere molto elevato (*Figura 60*), ma ampiamente ripartito nel *costo totale annuo* (ridotto addirittura del 27%, in entrambi i casi), dal momento che la *manodopera*, ed il suo conseguente costo relativo, risulterebbe presso che *azzerata*. L'unica differenza di rilievo, è rappresentata dai costi di spostamento delle zone, dal momento che essi aumentano nel caso della proposta C.2.

COSTI DI INSTALLAZIONE (x 1000 €)	
Robot unico	70,00
Magazzino verticale	45,00
	115,00

Figura 60 – Costi di installazione proposta C

COSTI DI ESERCIZIO (x 1000 €)			
COSTI VARIABILI		COSTI FISSI	
Materie prime	50,00	Attrezzature speciali dedicate	10,00
Costi trasporto	12,00	Manodopera diretta	42,24
Materiali imballaggio	15,00	Ammortamento macchinario dedicato	10,00
Costo energia	8,25	Manodopera indiretta	60,00
Materiali ausiliari	5,00	Spese generali	20,00
Manutenzione	4,00	Ammortamento macchinario comune	1,50
	94,25		143,74
		COSTO TOTALE ANNUO	237,99

Figura 61 – Costi di esercizio annui proposta C.1

COSTI DI ESERCIZIO (x 1000 €)			
COSTI VARIABILI		COSTI FISSI	
Materie prime	50,00	Attrezzature speciali dedicate	10,00
Costi trasporto	30,00	Manodopera diretta	42,24
Materiali imballaggio	15,00	Ammortamento macchinario dedicato	10,00
Costo energia	8,25	Manodopera indiretta	60,00
Materiali ausiliari	5,00	Spese generali	20,00
Manutenzione	4,00	Ammortamento macchinario comune	1,50
	112,25		143,74
		COSTO TOTALE ANNUO	255,99

Figura 62 – Costi di esercizio annui proposta C.2

Grazie alla riduzione dei giorni necessari al completamento dell'intera gamma di produzione, sia il *fatturato* che il *marginе lordo* risulterebbero più che raddoppiati rispetto all'attuale linea di produzione (*Figura 63*).

GIORNI NECESSARI PER COMPLETARE L'INTERA GAMMA DI PRODUZIONE [day]	GIORNI LAVORATIVI ANNUI [day/year]	FATTURATO ANNUO DELLA LINEA IMPLEMENTATA [x 1000€]
2,0	220	16561,91

MARGINE LORDO DELLA LINEA IMPLEMENTATA [x 1000€]
16305,9

Figura 63 – Fatturato e margine lordo proposta C

Stante tutte le valutazioni e le analisi effettuate, tali proposte si possono ritenere presso che equivalenti e sembrano garantire i maggiori benefici economici, sia nel breve che nel lungo periodo, pertanto appaiono essere la scelta migliore che l'azienda possa effettuare.

Bibliografia

- Groover M. P. e altri, "Industrial Robotics-Technology, Programming & Applications", McGraw-Hill, 1986
- Bonivento C., Gentili L., Paoli A., "Sistemi di automazione industriale – Architetture e controllo", McGraw-Hill, 2011
- Sciavicco L., Siciliano B., "Robotica – Modellistica, pianificazione e controllo", McGraw-Hill, 2008
- Tsai Lung-Wen, "Robot Analysis – The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators", John Wiley & Sons, Inc.
- Parenti Castelli V., "Note corso di Meccanica dei Robot"
- Ferrari E., Mora C., "Appunti corso di Servizi generali e Sicurezza d'impianto", Alma Mater Studiorum - Università degli Studi di Bologna, 2012
- Basile F., Chiacchio P., "Tecnologie informatiche per l'automazione", McGraw-Hill, 2004
- Beghi A., Lepschy A., "Appunti dalle lezioni di Storia della tecnologia dell'informazione", 2003
- Groover M. P., "Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing", Prentice Hall, Upple Saddle River, 2007
- Ferrari E., Pareschi A., Persona A., Regattieri A., "Logistica integrata e flessibile per i sistemi produttivi dell'industria e del terziario", Progetto Leonardo, 2003
- Ferretti G., Magnani G., Rocco P., "Tecnologie dei sistemi di controllo", McGraw-Hill, 2007
- International Federation of Robotics, "Executive Summary World Robotics 2018 Industrial Robots", 2018
- Caputo M., Michelino F., "Appunti e note dal corso di Economia ed Organizzazione aziendale", Università degli Studi di Salerno, 2006
- Tullio A., "Analisi dei costi e contabilità industriale. Teoria e pratica del controllo di gestione", IPSOA, 2013
- Curry O. I., Frank G. W., Matz A., "Manuale di contabilità industriale", Francoangeli, 2010