

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica



Tesi di Laurea Magistrale

**AUTOMATIZZAZIONE DEL PROCESSO DI
CENTROINTESTATURA TRAMITE ROBOT
ANTROPOMORFO E SISTEMA DI BIN-PICKING**

Relatori:

Prof. Maurizio Schenone

Prof. Dario Antonelli

Candidato:

Mario Arcidiacono

Anno accademico 2020/2021

SOMMARIO

1	INTRODUZIONE.....	1
2	DESCRIZIONE AZIENDA.....	2
2.1	OverOne.....	5
2.2	Workplan	14
2.2.1	<i>Articoli.....</i>	<i>17</i>
2.2.2	<i>Commessa e linea di commessa.....</i>	<i>22</i>
2.3	Calcolo produzione oraria	24
3	DESCRIZIONE ARTICOLO E CICLO DI LAVORAZIONE	27
3.1	Cartellino e Ciclo di Lavorazione.....	31
3.2	Tempi ciclo e considerazioni sulla produzione	37
3.3	Analisi della fase di centrointestatura.....	38
3.3.1	<i>Fase di carico e scarico pezzo.....</i>	<i>39</i>
3.3.2	<i>Descrizione della fase.....</i>	<i>40</i>
3.3.3	<i>Codice ISO.....</i>	<i>42</i>
3.3.4	<i>Controllo dimensionale</i>	<i>46</i>
4	AUTOMAZIONE TRAMITE BIN-PICKING	50
4.1	Caratteristiche del Bin-picking.....	52
4.1.1	<i>Sistema di visione 3D</i>	<i>54</i>
4.1.2	<i>Caratteristiche dei Robot e descrizione manipolatore ABB IRB 6600</i>	<i>60</i>
4.2	L'isola robotizzata	64
4.3	Risultati ottenuti	69
4.4	Confronto.....	72
5	CONCLUSIONI.....	74
	BIBLIOGRAFIA	76
	INDICE DELLE FIGURE	77
	INDICE TABELLE	79
	RINGRAZIAMENTI.....	80

1 INTRODUZIONE

Il lavoro di tesi è stato sviluppato presso l'azienda "O.L.V. Officina Meccanica", situata a San Carlo Canavese (TO), specializzata nelle lavorazioni meccaniche di alta precisione per il settore delle trasmissioni: alberi cambio, alberi presa di forza, alberi di trasmissione, pignoni conici di trasmissione, dentature di scanalati, semiassi e mozzi. Ad oggi l'azienda conta oltre 70 macchinari a controllo numerico, quali centro-intestatrici, torni, centri di lavoro e foratrici profonde.

Durante gli anni l'azienda ha conseguito un costante incremento delle tecnologie e dell'organico, puntando sulla qualità delle forniture. [1]

Le macchine utensili a controllo numerico sono connesse tramite rete Wi-Fi e tablet a bordo macchina al sistema 4.0, ovvero un sistema informativo che raccoglie le informazioni provenienti dalla linea produttiva e le trasmette ad uno o più software. I software utilizzati sono OverOne e Workplan.

A marzo 2021, in seguito ad un incremento della domanda da parte dei clienti, l'azienda ha sfruttato l'occasione per effettuare un investimento in automazione, con il fine di ottenere una crescita in termini di produttività.

Con il fine di avere un termine di paragone per l'eventuale investimento è stato necessario selezionare tutti gli articoli più lavorati nell'ultimo biennio e, per ogni fase di ognuno di essi, effettuare un'attenta analisi sui tempi ciclo, ovvero la somma tra il tempo macchina e il tempo di fermo. Dopo tale analisi si è constatato che una delle fasi che richiede un'automazione è la centointestatura.

Dopo varie opzioni si è optato di affiancare alla centointestatrice un robot antropomorfo: il compito principale del robot sarà quello di riuscire a capire, tramite un apposito dispositivo di scanner 3D, qual è il pezzo grezzo più comodo e vicino da prendere dalla cassa-pallet, dove vi sono disposti in modo disordinato i grezzi da lavorare. Una volta scelto il pezzo grezzo, questo viene disposto nella centointestatrice. Conclusa la lavorazione, il pezzo viene spostato in una zona adibita al controllo dimensionale. Infine, se i controlli dimensionali vengono rispettati, il robot posa il pezzo in una cassa-pallet per i pezzi buoni, in caso contrario lo sposta in quello dei pezzi di scarto.

2 DESCRIZIONE AZIENDA

In questo capitolo viene presentata una descrizione più dettagliata dell'azienda presso cui è stato svolto il tirocinio curriculare e il lavoro di tesi. Come già accennato nel capitolo introduttivo, la società in cui è stata vissuta questa esperienza è "OLV Officina Meccanica s.r.l.": una società a responsabilità limitata a conduzione familiare situata a San Carlo Canavese (TO). Nel 1988 Giuseppe Valle fonda "OLV Officina Meccanica", iniziando a lavorare con due torni e due persone. I principali clienti di OLV Officina Meccanica sono multinazionali che producono o assemblano trasmissioni e cambi destinati a macchine agricole, industriali, movimento terra ma soprattutto trasmissioni per il settore automobilistico, rappresentato da auto di lusso e sportive. La clientela esigente ha permesso negli anni all'azienda a fornire ed ottenere una qualità tecnica molto elevata, con tolleranze ristrette. Questo è stato possibile grazie agli investimenti fatti in sala metrologica, dove vengono utilizzate macchine a scansione ottica, macchine tridimensionali e strumenti di misura. Ad oggi l'azienda è composta da tre capannoni che in totale occupano una superficie di circa 5000 m³. Da un punto di vista dell'organico e delle macchine si hanno, nello specifico, 50 dipendenti e circa 80 macchine operatrici a controllo numerico. Relativamente al personale, si possono distinguere le seguenti figure professionali:

- Un capo officina;
- Un responsabile della logistica;
- Un responsabile del sistema 4.0;
- Un responsabile del magazzino;
- Un responsabile del controllo qualità;
- Un aiutante del responsabile del controllo qualità;
- Una contabile che gestisce i documenti amministrativi e contabili dell'azienda;
- Una segreteria, che svolge mansioni di tipo commerciale e anche di contabilità;
- Responsabili di reparto;
- Operatori.

Un'ulteriore crescita dell'azienda si è ottenuta dopo l'introduzione al suo interno del sistema di industria 4.0: si tratta di un progetto iniziato nel 2018 che prevede, tramite l'installazione di un server e di un sistema, l'interconnessione tra tutti i macchinari a

controllo numerico, provvisto di un apposito tablet, che ha il compito di raccogliere tutti i dati della macchina e condividerli sul server, in modo da avere in tempo reale ciò che avviene in officina; infine, tutti i dati raccolti possono essere analizzati tramite due software: OverOne e Workplan. Inoltre, l'introduzione del sistema 4.0 ha portato miglioramenti significativi in termini di pianificazione della produzione. Ovviamente per ottenere miglioramenti è necessario che il sistema 4.0 e i software che ne permettono la raccolta dati vengano utilizzati correttamente. Per avere una migliore comprensione di come sia strutturata l'azienda, viene mostrata di seguito il layout dello stabilimento:

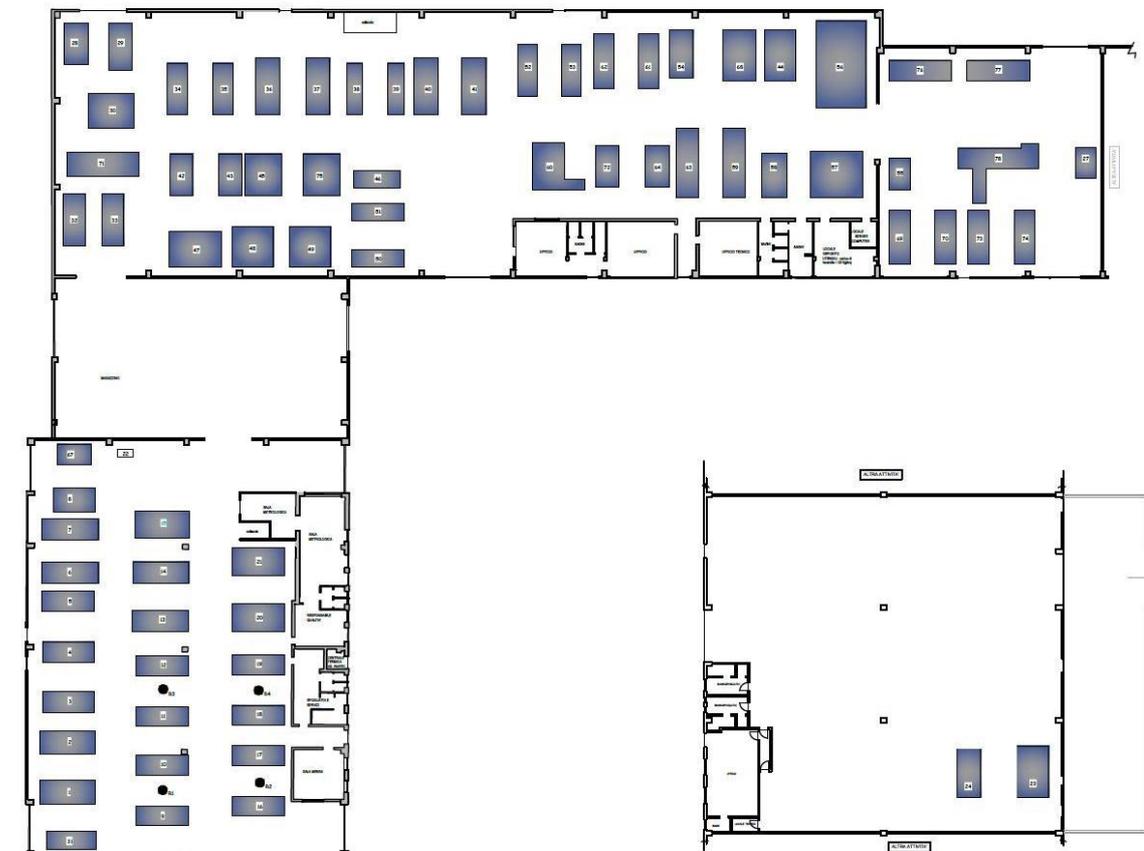


Figura 1 - Layout azienda

Nel layout sopraripotato, ad ogni rettangolo corrisponde una macchina operatrice e di seguito viene riportata la tabella con l'elenco delle macchine presenti in azienda:

Tabella 1- Elenco Macchine operatrici

n°	Nome Macchina	n°	Nome Macchina
01	TORNIO BIGLIA B 1200 L	42	FORATRICE IMSA MFT 1000
02	TORNIO BIGLIA (2008) B 1200 L	43 - F	FORATRICE- FRONTE - IMSA MFT 1000/2TI
03	TORNIO BIGLIA 600(1989)	43 - R	FORATRICE - RETRO - IMSA (2004) MFT 1000/2TI
04	TORNIO HWACHEON ECOSTAR 3	44	FORATRICE IMSA MFT 1000/2T A (2004)
05	TORNIO CMT KRONOS 208	45	FORATRICE IMSA (2004) MF 500/AL
06	TORNIO BIGLIA (2011) B 1200 L	47 - F	FORATRICE - FRONTE- IMSA (2008) MFT 1000/2TI
07	TORNIO BIGLIA (2011) B 1200 L	47 - R	FORATRICE - RETRO - IMSA (2008) MFT 1000/2TI
08	POWER CENTER PRO 1000 SHE HONG	48	FORATRICE IMSA (2008) MF 750/2TA
09	TORNIO CMT KRONOS 206 (2000)	49	CENTR. IMSA (2007) MF 750/2TA
10	TORNIO CMT KRONOS 206 (2000)	50	CENTR. COMINIFCT2T 120 CP
11	TORNIO CMT KRONOS 600 (2002)	51	CENTR. COMINI FCT2T 120 CP
12	TORNIO CMT (2002) KRONOS 600	52	TORNIO CMT ARES 208 (2003)
13	TORNIO BIGLIA 1200-L (2012)	53	TORNIO CMT KRONOS 208 (1996)
14	TORNIO BIGLIA (2012) B 1200 L	54	CENTRO DI LAVORO SHE HONG (2007) VMC1270A
15	CENTRO DI LAVORO CHIRONFZ18L	55	TORNIO CNC HWACHEON (bi-mandrino)
16	TORNIO CMT KRONOS 306 (1998)	56	CENTRO DI LAVORO REMA LEONARD 3.3 T5T6
17	TORNIO CMT KRONOS 306 (1998)	57	CENTRO DI TORNITURA FAMAR MAXER 400(2006)
18	TORNIO CMT KRONOS 306 (1998)	58	CENTRO DI AVORO SHE HONG VMC-1270A
19	TORNIO CMT (1999) KRONOS 206	59	FORATRICE IMSA MFTB 1000/43
20	CENTRO DI LAVORO DAEWOO (2004) MYNX 540	60	FORATRICE IMSA MFT 1100
21	CENTRO DI LAVORO DAEWOO (2004) MYNX 540	61	TORNIO BIGLIA (2010) B 1200 L
23	CENTRO REMA CONTROL NBT5	62	TORNIO BIGLIA (2010) B 1200 L
24	CENTRO DI LAVORO DOOSAN (2018) DNM670	63	FORATRICE IMSA MFTB 1000/51
27	DENTATRICE PFAUTER	64	CENTRO DI LAVORO DOOSAN DNM650 (2011)
30	CENTR. COMINI MM230/3	67	CENTRO DI LAVORO KITAMURA MYCENTER 3X
31	TORNIO CMTKRONOS 208	68	CENTRO DI LAVOTO DOOSAN DNM750 (2013)
32	CENTR. COMINI FCT2T 120 CP	69	TORNIO- BIGLIA (2014) B 1250 L
33	CENTR. COMINI FCT2T 120 CP	70	TORNIO BIGLIA (2014) B 1250 L
34	TORNIO CMT KRONOS 208	71	CENTR. COMINI MF 3.15U
35	TORNIO CMT KRONOS 208	72	CENTRO DI LAVORO DOOSAN DNM650
36	TORNIO HWACHEON (2006) HI TECH 700	73	TORNIO BIGLIA (2016) B 1250 L
37	TORNIO HWACHEON (2005) HI TECH 700	74	TORNIO BIGLIA (2016) B 1250 L
38	TORNIO PADOVANI LABOR 185/F	75	FORATRICE IMSA MF1000A (2016)
39	TORNIO CMT (2000) KRONOS 208	76	TORNIO BIGLIA B1250
40	TORNIO HWACHEON (2006) HI TECH 700	77	TORNIO BIGLIA B1250 (2017)
41	TORNIO HWACHEON HITECH700 (2006)	78	FORATRICE IMSA MFTB 1000/51

Ricapitolando, il complesso industriale è suddiviso in tre capannoni collegati tra loro con settantotto macchine operatrici, che si possono suddividere in:

- Centrintestatrice
- Tornio
- Foratrici
- Centro di Lavoro
- Dentatrice
- Marcatrice

Come detto in precedenza, ogni macchina operatrice è equipaggiata di un tablet che permette, da una parte, all'operatore di indentificarsi e di indicare quale lavorazione sta effettuando e, dall'altra, di raccogliere i dati su tutte le macchine, inviarla sul server che a sua volta condivide i dati sui due software utilizzati per la gestione della produzione e della pianificazione.

Di seguito è riportata la descrizione dei principali software utilizzati e di come è stata svolta la stima della produzione oraria tramite questi e l'ausilio di un foglio di calcolo Excel.

2.1 OverOne

“OverOne”, di proprietà della Overmach, è un software di gestione e controllo della produzione MES, “Manufacturing Execution System”. Questo programma è interconnesso ad altri due software aziendali, ARCA e Workplan: il primo serve per registrare i flussi di materiale e gestire la contabilità, mentre il secondo è un software di pianificazione (si rimanda al paragrafo successivo).

Per avere una migliore comprensione di come viene utilizzato il software è necessario descrivere la configurazione del programma stesso.

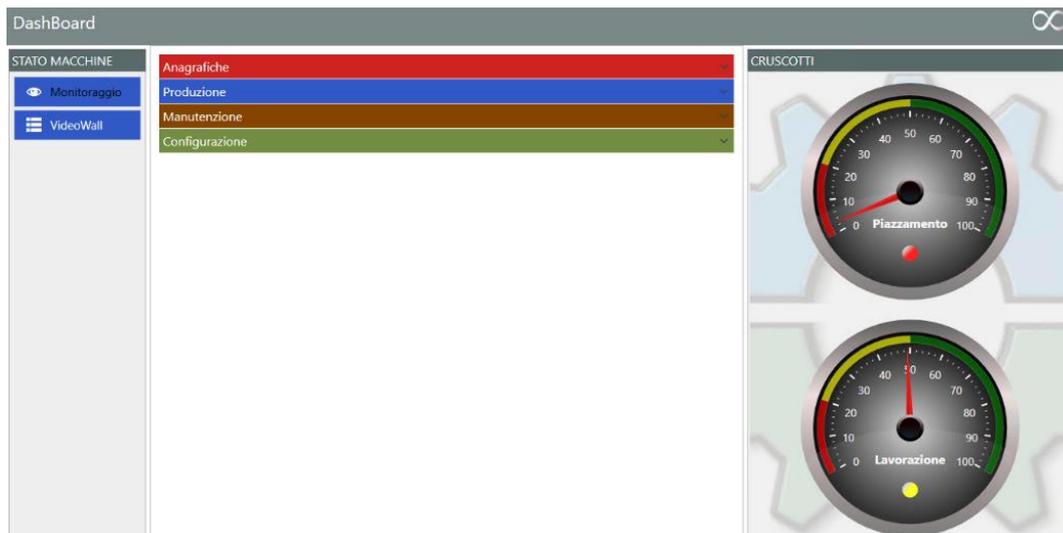


Figura 2 - Dashboard OverOne

Innanzitutto, dopo essersi autenticati tramite il nome utente e la password, ci si trova di fronte alla Dashboard che, come si evince dalla figura 2, dispone di cinque macro-sezioni, quali:

- Stato macchine
- Anagrafiche
- Produzione
- Configurazione
- Manutenzioni

La funzione “Anagrafiche” è utile per visualizzare la lista e i codici di tutti gli operatori, dei clienti, dei fornitori, delle macchine e di tutti gli articoli presenti in memoria.

La funzione “Configurazione” viene utilizzata per alcune impostazioni di sistema.



Figura 3- sezione "Produzione" su OverOne

La macro-sezione più utilizzata è “Produzione”, che si suddivide in due ulteriori sezioni:

- Produzione, che a sua volta contiene le funzioni:
- Ordini
- Cicli
- Analisi, che a sua volta contiene:
- Analisi tempi
- Analisi cicli
- Monitoraggio
- Videowall

In “Stato Macchine” si hanno le funzioni Monitoraggio e Videowall, ovvero le stesse che si trovano nella sezione “Analisi”.

Per quanto concerne la funzione monitoraggio, questa consente di avere una visione immediata dello stato delle macchine e delle informazioni riguardo l’operazione che queste stanno eseguendo in tempo reale.

Nello specifico le informazioni presenti sono:

- Stato della macchina: lavorazione, piazzamento, macchina ferma, macchina spenta;
- Operatore presente a bordo macchina;
- Articolo, commessa, fase e descrizione dell’operazione che si stanno eseguendo sulla macchina.



Figura 4 - sezione "Monitoraggio" su OverOne

Inoltre, andando a cliccare su un'icona di una qualsiasi macchina si accede direttamente al tablet della macchina selezionata: questo significa che è come se ci si trovasse a bordo macchina e ciò permette di controllare i dati del sistema da remoto.

Come si evince dalla figura 4 non tutte le icone delle macchine hanno lo stesso colore, ogni colore indica lo stato della macchina, nello specifico si hanno:

- Icona verde: macchina che è in lavorazione;
- Icona rossa: macchina ferma;
- Icona blu: macchina in piazzamento;
- Icona arancione: caso particolare per le macchine a doppio pallet;
- Icona nera: macchina spenta.

La funzione Videowall permette di visualizzare la cronologia di tutti gli stati giornalieri (lavorazione, fermo, piazzamento e spegnimento) di tutte le macchine presenti.

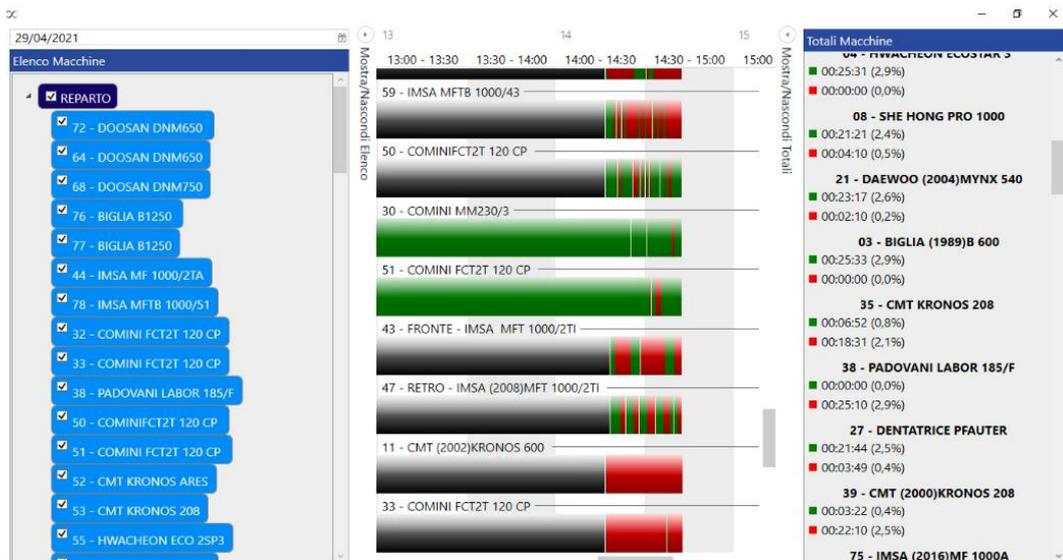


Figura 5 - sezione "Videowall" su OverOne

Una delle sezioni più utilizzate durante il tirocinio e la stesura di tesi aziendale è “Ordini”: funzione utile per il monitoraggio dei dati riguardanti uno specifico articolo o commessa. Questa funzione è stata fondamentale per la valutazione della produzione oraria degli articoli. Andando ad inserire il codice dell’articolo si ottiene lo storico di tutte le commesse passate in azienda in cui sono state effettuate delle lavorazioni su un articolo specifico.

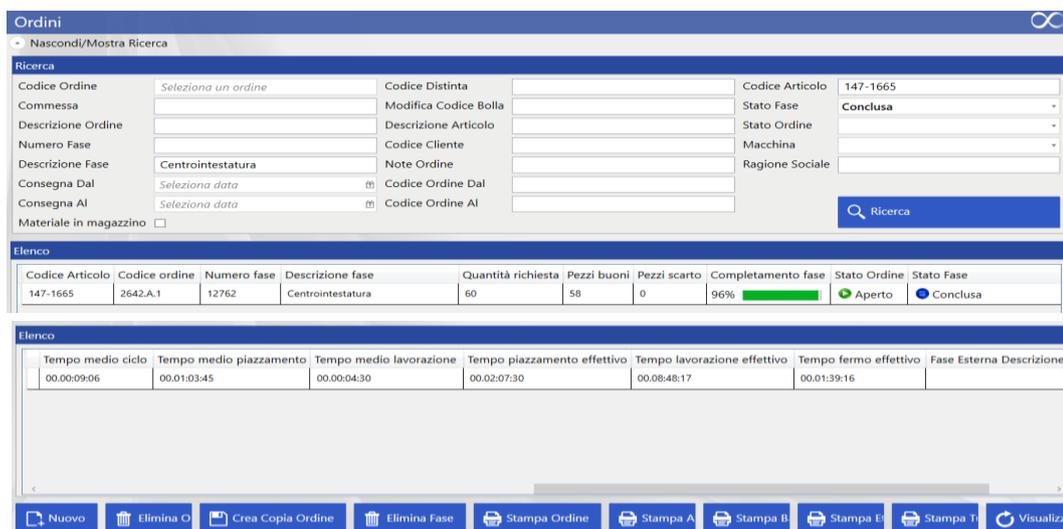


Figura 6 - sezione "Ordini" su OverOne

Nello specifico le informazioni ottenute che compaiono nella sezione Ordini sono:

- Codice Articolo;
- Codice ordine;
- Numero fase;
- Descrizione fase;
- Quantità richiesta;
- Pezzi buoni;
- Pezzi scarto;
- Completamento fase;
- Stato ordine;
- Stato fase;
- Tempo medio ciclo
- Tempo medio piazzamento
- Tempo medio lavorazione;
- Tempo lavorazione effettivo;
- Tempo fermo effettivo;
- Data di inserimento di tali commesse.

Su OverOne è possibile aggiungere ulteriori dati, ma per il calcolo della produzione oraria questi risulterebbero superflui.

Infine, vi è la funzione “Analisi Tempi” che consente di ottenere informazioni specifiche relative alle varie macchine e alle lavorazioni che esse svolgono, permettendo di analizzare ogni singola operazione effettuata a bordo macchina in qualunque momento, infatti, è possibile inserire le date per cui si vuole effettuare la ricerca.

Tempi	Totali	Grafici Totali	Grafici Macchine							
Codice Articolo	Codice ordine	Numero fase	Descrizione fase	Quantità richiesta	Pezzi buoni	Pezzi scarto	Codice cliente	Codice macchina	Nome macchina	Num
0876739083/COMPL	R-277071.A.2	14213	Centrointestatura	609	0	0		32	32 - COMINI FCT2T 120 CP	0
0876739083/COMPL	R-277071.A.2	14213	Centrointestatura	609	1	2		32	32 - COMINI FCT2T 120 CP	0
0876739083/COMPL	R-277071.A.2	14213	Centrointestatura	609	0	0		32	32 - COMINI FCT2T 120 CP	0
0876739083/COMPL	R-277071.A.2	14213	Centrointestatura	609	0	0		32	32 - COMINI FCT2T 120 CP	0
0876739083/COMPL	R-277071.A.2	14213	Centrointestatura	609	0	0		32	32 - COMINI FCT2T 120 CP	0
0876739083/COMPL	R-277071.A.2	14213	Centrointestatura	609	0	0		32	32 - COMINI FCT2T 120 CP	0
0876739083/COMPL	R-277071.A.2	14213	Centrointestatura	609	0	0		32	32 - COMINI FCT2T 120 CP	0
0876739083/COMPL	R-277071.A.2	14213	Centrointestatura	609	0	0		32	32 - COMINI FCT2T 120 CP	0
0876739083/COMPL	R-277071.A.2	14213	Centrointestatura	609	0	0		32	32 - COMINI FCT2T 120 CP	0

Figura 7 - sezione "Analisi Tempi" su OverOne

Come da figura 7, i filtri applicabili per la ricerca sono i seguenti:

- Codice ordine
- Numero fase
- Data di inizio e di fine
- Codice articolo
- Operatore
- Macchina

In questo caso maggiori sono i filtri applicati e più dettagliata sarà la ricerca. Quindi, questa funzione risulta essere di grande aiuto quando si vogliono eseguire dei controlli mirati su una specifica macchina o su un singolo operatore. Una delle colonne più utilizzata è quella delle "attività", questa permette di selezionare i dati che si vogliono osservare durante una ricerca, quali:

- Controllo qualità
- Fermo
- Lavorazione
- Versamento pezzo automatico
- Sospensioni
- Versamento manuale

Per monitorare al meglio i fermi macchina e, quindi, capire le cause di improduttività presenti in azienda è possibile filtrare tramite la colonna relativa alle causali di fermo, tra le voci disponibili ci sono quindi tutti i fermi casualizzati, quali:

- Pausa operatore (no pausa pranzo);
- Manutenzione ordinaria/pulizia macchina;
- Misura pezzo: autocontrollo a bordo macchina/altmetro;
- Mancanza pezzi;
- Cambio inserto/utensile;
- Guasto macchina;
- Carico/scarico pezzi;
- Misura pezzo in sala metrologica.

Tempi											
Totali											
Grafici Totali											
Grafici Macchine											
Nome macchina	NumeroPallet	Codice operatore	Inizio	Durata	Fine	Nome operatore	Attività	Stato Fase	Stato Ordine	Descrizione ordine	N
30 - COMINI MM230/3	0	093	22/05/2021 08:02:50	00:03:46	22/05/2021 08:06:36	[REDACTED]	Lavorazione	Scopiesta	Aperto	ALBERO ORDINE 4/20 DEL 14/12/2020	
30 - COMINI MM230/3	0	093	22/05/2021 08:06:36	00:00:00	22/05/2021 08:06:36	[REDACTED]	Versamento Pezzi Automatico	Scopiesta	Aperto	ALBERO ORDINE 4/20 DEL 14/12/2020	
30 - COMINI MM230/3	0	093	22/05/2021 08:06:36	00:00:02	22/05/2021 08:06:38	[REDACTED]	Lavorazione	Scopiesta	Aperto	ALBERO ORDINE 4/20 DEL 14/12/2020	
30 - COMINI MM230/3	0	093	22/05/2021 08:06:38	00:03:10	22/05/2021 08:09:48	[REDACTED]	Fermo	Scopiesta	Aperto	ALBERO ORDINE 4/20 DEL 14/12/2020	
30 - COMINI MM230/3	0	093	22/05/2021 08:09:48	00:03:47	22/05/2021 08:13:35	[REDACTED]	Lavorazione	Scopiesta	Aperto	ALBERO ORDINE 4/20 DEL 14/12/2020	
30 - COMINI MM230/3	0	093	22/05/2021 08:13:35	00:00:00	22/05/2021 08:13:35	[REDACTED]	Versamento Pezzi Automatico	Scopiesta	Aperto	ALBERO ORDINE 4/20 DEL 14/12/2020	
30 - COMINI MM230/3	0	093	22/05/2021 08:13:35	00:00:02	22/05/2021 08:13:37	[REDACTED]	Lavorazione	Scopiesta	Aperto	ALBERO ORDINE 4/20 DEL 14/12/2020	
30 - COMINI MM230/3	0	093	22/05/2021 08:13:37	00:04:07	22/05/2021 08:17:44	[REDACTED]	Fermo	Scopiesta	Aperto	ALBERO ORDINE 4/20 DEL 14/12/2020	

Figura 8 – sezione “Tempi” in Analisi Tempi

Analizzando i risultati che si ottengono nella sezione “Tempi” (fig. 8) si nota che, andando a spuntare la casella “Mostra Versamenti Automatici”, tutto ciò che avviene tra due versamenti automatici consecutivi è il tempo ciclo reale del pezzo sulla macchina in analisi.

Oltre alla sezione “Tempi” vi sono altre sezioni, quali:

- Totali
- Grafici Totali
- Grafici Macchine

È opportuno dare una descrizione della sezione “Totali” poiché in questa vengono riportate informazioni specifiche relative ai tempi della fase in analisi e alle quantità di pezzi lavorati. La schermata si presenta in questo modo:

Descrizione	Totale
Dettaglio Attività	
Piazzamento	00h00m00s
Di cui di ripasso	00h00m00s
Lavorazione	00h09m11s
Di cui di ripasso	00h00m00s
Controllo Qualità	00h00m00s
Fermo Generico	01h56m49s
Fermo Casualizzato	04h17m02s
Manutenzione Straordinaria	00h00m00s
Totale Tempi	1h23m42s
Totale Pezzi	
Pezzi Automatici	81
Pezzi Automatici ripasso	0
Pezzi Buoni	100
Pezzi Scarto	0
Pezzi Buoni Ripassi	0
Pezzi Scarto Ripassi	0
Totale Pezzi Manuali(No ripassi)	100

Figura 9 - sezione "Totali" in Analisi Tempi

Come si può notare in figura vi sono due parti:

- La prima, denominata “Dettaglio Attività”, comprende i tempi complessivi di “Piazzamento”, “Lavorazione”, “fermo generico”, “fermo casualizzato”, “Manutenzione Straordinaria” ed infine il “Totale Tempi”.
- La seconda, denominata “Totale Pezzi”, indica:
 - “pezzi automatici”, ovvero il numero di articoli conteggiati dal sistema;
 - mentre nelle righe di “pezzi buoni” e “pezzi scarto” vi sono le sospensioni effettuate dall’operatore;
 - “Totale Pezzi Manuali (No ripassi)”, che è la somma dei pezzi buoni e di scarto.

Se il “Totale Pezzi Manuali” non dovesse corrispondere numericamente al numero di pezzi automatici significa che vi sono stati dei problemi, dovuti ad un malfunzionamento del sistema oppure dall’esecuzione sbagliata di una procedura da parte dell’operatore.

Inoltre, quando nella sezione “ordini” non vi sono i dati utili per l’ottenimento della produzione oraria, si può ottenere quest’ultima andando ad analizzare la fase di una specifica commessa (il numero specifico della fase si può ottenere tramite la sezione ordini), nello specifico gli step da seguire sono i seguenti:

- 1 Si aggiunge il numero della fase;
- 2 Si inseriscono in “Attività” i filtri Fermo, Lavorazione e Versamento pezzo automatico.

- 3 Una volta cliccato il tasto “analizza” si utilizza la sezione “Totali”, dove vengono riportate le informazioni specifiche relative ai tempi della fase analizzata e le quantità dei pezzi buoni versati in automatico.
- 4 Una volta ottenuti i dati si calcola la produzione oraria come il rapporto tra i pezzi totali versati in automatico e il totale dei tempi.

2.2 Workplan

Workplan, un software ERP, “Enterprise Resource Planning”, realizzato per le aziende che lavorano su commessa o su piccoli lotti. È in grado di gestire tutto il processo produttivo dalla preventivazione alla produzione. Esso permette di avere sotto controllo i costi, i tempi di realizzazione, la disponibilità dei materiali a magazzino, di raccogliere le ore in officina e in ufficio tecnico. In ogni istante è possibile monitorare l’andamento della commessa rispetto a quanto preventivato.

Le funzioni principali di tale software sono:

- Preventivi:
 - preparazione di un preventivo;
 - interfaccia diretta con files Excel già in uso in azienda;
 - consultazione dello storico per la preparazione di preventivi;
 - lettura diretta di tutti i principali formati CAD.
- Gestione Attività:
 - raccolta dei preventivi, degli ordini del cliente e delle fatture;
 - raccolta dei documenti associati alla commessa;
 - report dell’avanzamento dei lavori;
 - amministrazione delle vendite;
 - archiviazione documenti.
- Acquisti e Magazzino:
 - importazione distinta base dai principali sistemi CAD;
 - gestione in tempo reale del magazzino per tutti i progetti correnti;
 - gestione completa magazzino e tracciabilità dei componenti;
 - semplificazione acquisti;
 - controllo costi produzione;

- ottimizzazione magazzino.
- Gestione della produzione:
 - rilevazione tempo speso nel progetto con diversi sistemi (barcode readers o touch screen);
 - gestione completa delle presenze;
 - gestione della manutenzione delle macchine e delle attrezzature;
 - gestione del controllo qualità e dei sistemi di misura;
 - controllo in tempo reale dello stato di ogni componente.
- Pianificazione:
 - simulazione dei carichi di officina in accordo con le risorse (macchine e uomini) dichiarate;
 - priorità dei progetti secondo i vincoli;
 - possibilità di interagire col planning in modo dettagliato;
 - visualizzazione dei diagrammi di Gantt;
 - ottimizzazione risorse;
 - esportazione verso Excel.
- Gestione di Controllo Qualità:
 - fogli di non conformità gestione azioni in accordo col management;
 - rilevazione misure;
 - piano di manutenzione;
 - documentazione associata alla gestione della qualità;
 - continui miglioramenti di processo;
 - criteri di valutazione fornitori;
 - valutazione dei costi di non conformità;
 - miglioramento della qualità totale.
- Strumenti e analisi:
 - qualificazione delle opportunità;
 - campagne sales e marketing mirate;
 - miglioramento del management;
 - home page personalizzabile;
 - aggiunte di note e memo al progetto;
 - spedizione di mail e documenti direttamente dall'applicazione;
 - sommario delle scadenze.

Le funzioni più utilizzate sono la gestione della produzione e della pianificazione, ma in questo elaborato verrà descritta soltanto la parte relativa alla produzione.

Con il fine di avere una chiara comprensione di come avvenga la gestione delle commesse e degli articoli presenti in azienda su Workplan di seguito verranno indicate le procedure di base da effettuare.

Innanzitutto, dopo essersi autenticati tramite il nome utente e la password, ci si trova di fronte ad una pagina e nella parte superiore si hanno diverse icone.

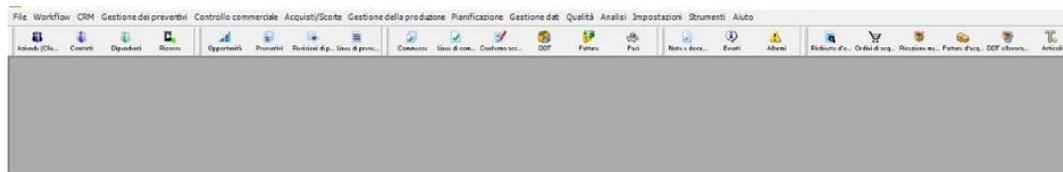


Figura 10 - Schermata principale Workplan

Leggendole da sinistra a destra si hanno le seguenti tipologie di icone:

- Aziende clienti
- Contatti
- Dipendenti
- Risorse
- Opportunità
- Preventivi
- Revisioni di preventivo
- Linee di preventivo
- Commesse
- Linee di commessa
- Conferma accettazione ordine
- DDT (documenti di trasporto)
- Fatture
- Fasi
- Note e Documenti
- Eventi
- Allarmi
- Richieste d'ordine

- Ordini di acquisto
- Ricezione merci
- Articoli

Di questo elenco le principali funzioni utilizzate sono quelle di “Articolo”, “linee di commessa”, “Commessa”, “Fasi” e “Pianificazione”.

2.2.1 Articoli

La prima funzione da analizzare è quella denominata Articoli: questa contiene tutti gli articoli lavorati (come già detto nell’introduzione si tratta di alberi per la trasmissione) in azienda, ovvero un database contenente tutti i pezzi lavorati storicamente in azienda e che continuano tutt’oggi ad essere lavorati. Solitamente, quando dopo un lungo periodo di tempo non viene richiesta più una lavorazione su un certo articolo, questo viene eliminato dal database.

Andando a cliccare sulla voce Articoli, la prima cosa che appare sullo schermo è l’elenco di tali articoli e, essendocene ad oggi oltre cinquecento, si procede andando ad inserire nell’apposita casella di ricerca l’articolo da controllare.

Si procede a questo punto utilizzando come esempio l’articolo che verrà analizzato in questo elaborato di tesi, ovvero l’albero per la Metalcastello 301-5693-05. Inserendo tale codice nel riquadro in alto e cliccando sull’icona a forma di lente d’ingrandimento si ottengono tutte i particolari relativi al prodotto considerato.

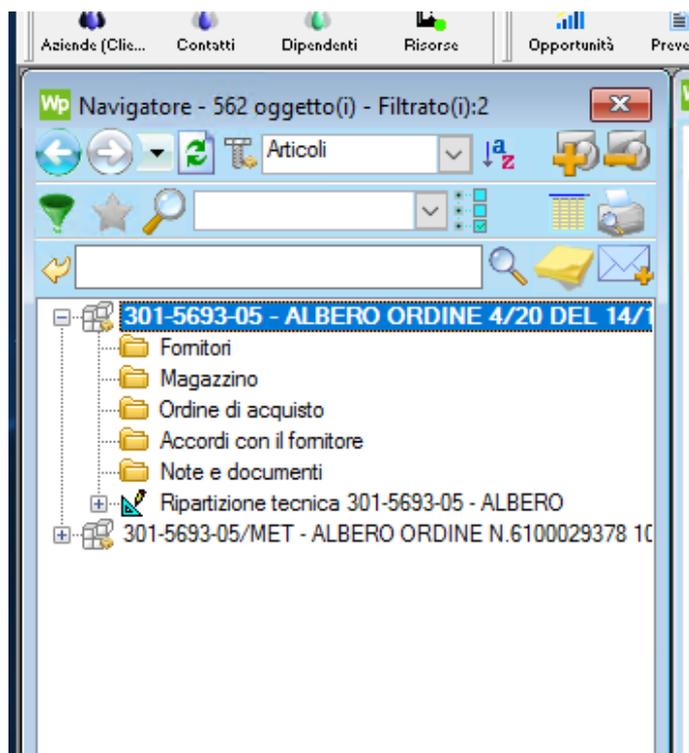


Figura 11 - sezioni "Articoli" su Workplan

Come si evince dalla figura, le informazioni che si ottengono per l'articolo in questione sono:

- Fornitori
- Magazzino
- Ordine di acquisto
- Accordi con il fornitore
- Note e documenti
- Ripartizione tecnica

L'ultima voce elencata è quella più importante poiché essa rappresenta il ciclo di lavorazione dell'articolo ed è il punto di partenza per inserire un nuovo prodotto nel database.

Prima di descrivere al meglio la sezione "Ripartizione tecnica" è fondamentale accennare la fase d'inserimento di un nuovo articolo nel database, questa viene effettuata tramite Arca, dove si devono registrare due informazioni fondamentali: il codice del grezzo e il codice dell'articolo che si vuole ottenere. Inoltre, è da ricordare che da uno stesso grezzo si possono ottenere due o più prodotti finiti differenti tra loro. Aggiunto l'articolo su Arca,

non essendoci il passaggio dell'informazione con Workplan, bisogna effettuare manualmente il collegamento tra queste due.

Una volta eseguita questa fase si può reperire il nuovo articolo nella lista sopracitata e quindi si può procedere con la definizione della ripartizione tecnica.

Tuttavia, succede di rado che si debba inserire un nuovo articolo; al contrario, si verifica molto più frequentemente che venga richiesta, da parte di un operatore o un capo-reparto, di apportare alcune modifiche sulla ripartizione tecnica: andando ad aggiungere, togliere o modificare una fase.

Di seguito vengono riportate le istruzioni per eseguire la creazione della ripartizione tecnica. Innanzitutto, per ripartizione tecnica si intende il ciclo di lavorazione che il prodotto deve seguire all'interno dell'officina. Tutto quello che viene inserito nella ripartizione tecnica viene duplicato ogni volta che si avvia un nuovo ordine, ossia quando si aggiunge una nuova commessa. Quindi bisogna stare attenti durante la compilazione della ripartizione tecnica poiché ogni errore presente si ripete nelle commesse future.

Una volta creato l'articolo è possibile controllare i dettagli tramite un click sulla riga principale contenente il nome dell'articolo.



Figura 12- informazioni generali articolo su Workplan

Come si evince dalla figura le sezioni presenti sono:

- Dettagliato
- Acquisto
- Vendita
- Scorta
- Imputazioni contabili
- Commenti
- Informazioni aggiuntive
- Documenti allegati

Le voci su cui sarà riposta maggiore attenzione sono “Generali” e “Dettagliato”

- La prima permette di avere le informazioni generali sul nome dell’articolo e una breve descrizione di quest’ultima;

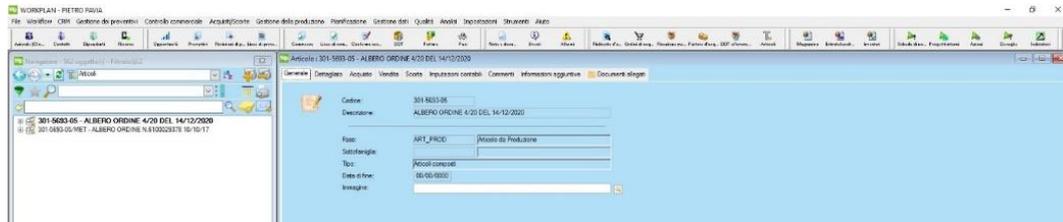


Figura 13 - sezione "Generali" su Articoli

- la seconda, invece, permette di avere informazioni sia di carattere economico che tecniche.

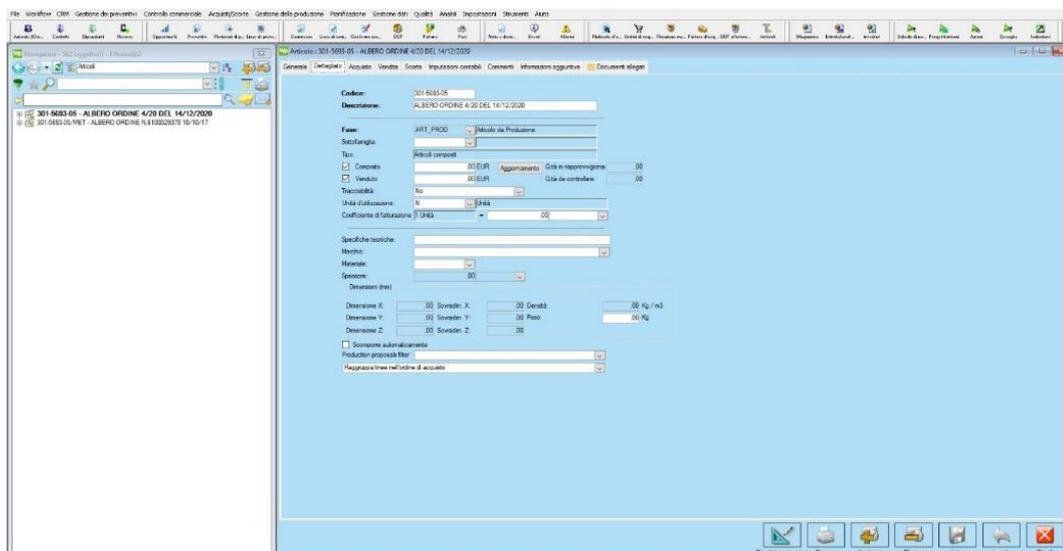


Figura 14 - sezione "Dettagliati" su Articoli

Nella ripartizione tecnica nella sezione “Articoli” non vi sarà mai un numero di fase associato; diversamente succede quando si avvia una nuova commessa, di un determinato articolo, in questo caso verrà associato un numero di fase univoco per ogni lavorazione da eseguire.

Posizione	Fase	Descrizione	Tipo preparazione	Durata (ore)	Durata (giorni)
10	CNT	Centroidestatura + Maschiatura M10 X 1,5 TG		.00	.12
20	SGR	Sgrosseatura		.00	.48
30	FRT_PRF	Foratura Assiale N.5 fori diam.15		.00	.00
40	TRN	Tomitura		.00	.43
50	FRT_RDL	Foratura radiale + Maschiatura		.00	.40
60	MRC	Marcatura		.00	.00
70	MAG	Pezzo finito (da pesare)		.00	.00
Totale:				.00	1.42

Figura 15 - Ripartizione tecnica

Come si evince dalla figura 15, nella ripartizione tecnica ad ogni fase è associato un codice che ne identifica la lavorazione. Queste nomenclature sono preimpostate e identificano tutte le possibili lavorazioni eseguibili all'interno dell'azienda e le lavorazioni che vengono eseguite all'esterno dell'azienda (quest'ultimo caso è dovuto al fatto che vengono indicate le operazioni svolte esternamente sul cartellino).

Di seguito vengono riportate tutte le nomenclature che è possibile aggiungere nella ripartizione tecnica:

Posizione	Codice	Descrizione	Tipologia	Gruppo	Prezzo di vendita	Costo orario	Costo non presidiato	Colore	Group (pianificazione)
1	CNT	Centroidestatura	Produttiva	Centroidestatura					Centroidestatura
2	TRN	Tomitura	Produttiva	Tomitura					Tomitura
5	SGR	Sgrosseatura	Produttiva	Tomitura					Tomitura
6	FRT_PRF	Foratura Profonda Punta C	Produttiva	Foratura Profonda					Foratura Profonda
8	FRT_RDL	Foratura radiale	Produttiva	Fresatura					Fresatura
9	MRC	Marcatura	Produttiva	Marcatura					Marcatura
12	TTR	Trattamento Termico	Subappalto	Lavorazioni Esterne					Lavorazioni Esterne
13	DNT_EST	Dentatura_Estema	Subappalto	Lavorazioni Esterne					Lavorazioni Esterne
14	MSC	Maschiatura	Produttiva	Maschiatura					Maschiatura
15	TGL	Taglio	Produttiva	Taglio					Taglio
16	ART_PROD	Articolo da Produzione	Articoli composti	Articoli					Articoli
17	FRT_BTA	Foratura Profonda BTA	Produttiva	Foratura Profonda					Foratura Profonda
18	FRS	Fresatura	Produttiva	Fresatura					Fresatura
19	CNT_EST	Centroidestatura_Estema	Subappalto	Lavorazioni Esterne					Lavorazioni Esterne
20	TRN_EST	Tomitura_Estema	Subappalto	Lavorazioni Esterne					Lavorazioni Esterne
21	CENTR_LAV_EST	Centro di Lavoro_Estemo	Subappalto	Lavorazioni Esterne					Lavorazioni Esterne
22	LAV_COMP_EST	Lavorazione Completa_Est	Subappalto	Lavorazioni Esterne					Lavorazioni Esterne
23	DNT	Dentatura	Produttiva	Dentatura					Dentatura
24	TGL_EST	Taglio_Estemo	Subappalto	Lavorazioni Esterne					Lavorazioni Esterne
25	MAG	Pezzo finito (da pesare)	Produttiva	Magazzino					Lavorazioni Esterne
26	MRC_EST	Marcatura_Estema	Subappalto	Lavorazioni Esterne					Lavorazioni Esterne
27	RADDR	Raddizatura	Produttiva	Raddizatura					Raddizatura
28	SMU_SBAV	Smussatura_Sbavatura	Produttiva						
29	FOR_VERT	Foratura Verticale	Produttiva						Fresatura
30	FRS_EST	Fresatura_Estema	Subappalto	Lavorazioni Esterne					Lavorazioni Esterne
31	MAT	Materia Prima	Materie prime						

Figura 16 - Nomenclature lavorazioni

Continuando nella sezione “Ripartizione tecnica”, oltre alla descrizione della fase stessa si possono leggere o aggiungere (nel caso di dati mancanti) informazioni riguardanti il ciclo di lavorazione, quali:

- Tempo di preparazione: Sono tempi per attività rivolte alla organizzazione del posto di lavoro: lettura disegno e ciclo di lavorazione, attrezzare la macchina, ritirare utensili dal magazzino, ecc.
- Durata: ovvero il tempo effettivo che si impiega per una determinata lavorazione.
- Risorse: ad ogni fase può essere associata una risorsa, ovvero una macchina operatrice.

Quest’ultima torna utile in due casi:

- in fase di pianificazione, poiché il software va ad associare la fase da lavorare ad una specifica macchina con una certa capacità produttiva, riuscendo così a determinare il tempo che si impiegherebbe ad eseguire quella determinata fase.
- durante la fase di inizio turno sul tablet a bordo macchina: se un operatore dovesse selezionare il codice a barre sbagliato, ovvero una fase che non può essere eseguita sulla macchina su cui sta lavorando, il tablet non glielo permetterebbe e si avrà sullo schermo un segnale di errore.

Tutte le fasi presenti nella ripartizione tecnica possono essere modificate o disposte in ordine diverso in caso di modifiche al ciclo di lavorazione.

2.2.2 Commessa e linea di commessa

Una volta presente l’articolo e la sua partizione tecnica è possibile aggiungere una nuova commessa: nello specifico, lato segreteria, viene aggiunta su Arca la nuova commessa con la quantità di pezzi da lavorare e, in automatico, si ha il passaggio di questa informazione su Workplan. L’azione eseguita dal software è quella di prendere le informazioni dell’articolo che si deve lavorare e assegnarli alla nuova commessa.

Una volta eseguiti gli step sopracitati, la commessa viene aggiunta al database e la si può ritrovare sia nella sezione “Commesse” che in “Linee di commessa”:

- la prima contiene tutti gli ordini che sono stati lavorati, che stanno per essere lavorati o che sono in fase di lavorazione;
- la seconda invece contiene tutti gli ordini conclusi e spediti.

Le due sezioni hanno la medesima interfaccia, motivo per la quale viene riportata soltanto quella relativa alla sezione “Commesse”.

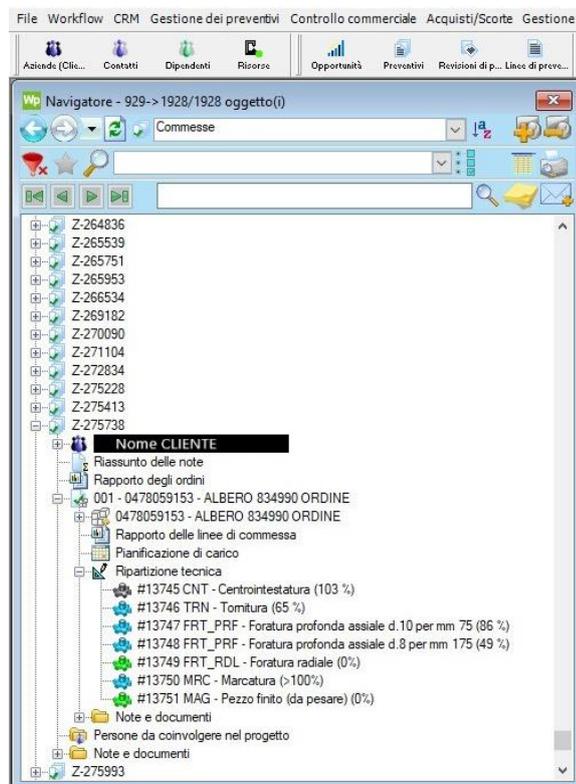


Figura 17 - Sezione "Commissa" su Workplan

Come si evince dalla figura 17, si ha una prima suddivisione dove vengono indicati:

- il nome del cliente;
- il codice dell'ordine;
- le persone da coinvolgere nel progetto;
- note e documenti.

La voce più utilizzata è quella relativa al codice dell'ordine, in questo caso quella denominata “001-0478059153-ALBERO 834990 ORDINE”, che a sua volta si suddivide nel seguente modo:

- codice dell'articolo di riferimento: questa casella permette di avere le stesse informazioni che si avrebbero se si facesse una ricerca tramite la sezione Articoli (si rimanda al paragrafo Articoli 2.2.1);

- la ripartizione tecnica della commessa: questa corrisponde a quella presente nella sezione Articoli, però in questo caso per ogni lavorazione vi è il numero di fase associato, che è quello presente sul cartellino.

Ogni fase ha un'icona, che può essere rappresentata con tre diversi colori, quali:

- Verde, indica che la fase è stata avviata: non appena la commessa viene aggiunta al database si clicca con il tasto destro del mouse sulla ripartizione tecnica e di seguito sulla voce “avviare”; questa operazione è molto importante altrimenti l'operatore non potrebbe selezionare la fase tramite il codice a barre presente sul cartellino poiché non si verificherebbe il passaggio da Workplan a OverOne.
- Azzurro, indica che la fase avviata è in corso di lavorazione: questa operazione avviene in automatico nel momento in cui si inizia la lavorazione e quindi si ha un passaggio di dati tra il tablet a bordo macchina e il server.
- Grigio, fase creta o conclusa: non appena viene creta la commessa la ripartizione tecnica avrà tutte le icone grigie, lo step successivo sarà quello spiegato per l'icona verde. Invece, una volta terminati i pezzi da lavorare in una determinata fase l'operatore effettua tramite tablet la conclusione della fase e tale informazione passerà in automatico su Workplan che a sua volta cambierà il colore dell'icona da azzurro a grigio.

Infine, le operazioni eseguite dopo la creazione di una commessa sono la generazione e la stampa dei cartellini: queste si effettuano tramite Workplan, nello specifico nella sezione “Commessa” andando a cliccare sulla ripartizione tecnica e di seguito sulla casella “stampa”, ottenendo così un file Word con l'anteprima del cartellino e di seguito si procede con la stampa effettiva dello stesso.

2.3 Calcolo produzione oraria

Prima di indicare i risultati ottenuti dopo l'analisi effettuata sulla produzione oraria è necessario descrivere la classificazione dei diversi tempi. Nello specifico il tempo ciclo si suddivide in tempo macchina e tempo di fermo.

Il tempo macchina rappresenta la durata della lavorazione eseguita dalla macchina a controllo numerico, nello specifico si considera l'intervallo di tempo che intercorre tra la

chiusura e l'apertura del portello della macchina operatrice; questo tempo dipende esclusivamente dalle prestazioni tecniche della macchina e, solitamente, non dovrebbe variare da un pezzo all'altro dello stesso articolo.

Mentre, il tempo di fermo è la somma di tutti i tempi delle operazioni non eseguite dalla macchina, quali:

- Il tempo di pausa dell'operatore, che tiene in considerazione i fattori fisiologici e di riposo dell'operatore. Ovviamente non tiene conto della pausa pranzo.
- Il tempo di manutenzione ordinaria della macchina (un esempio è la pulizia della macchina);
- Il tempo di misurazione del pezzo: ovvero il tempo che impiega l'operatore per effettuare i controlli dimensionali a bordo macchina;
- Il tempo di misurazione del pezzo in sala metrologica, questa si differenzia da quella precedente poiché la misurazione deve essere eseguita dagli addetti del collaudo;
- Il tempo di fermo dovuto alla mancanza di pezzi, ovvero quando si sta aspettando un contenitore con i pezzi da lavorare a causa di pezzi ancora in lavorazione in una fase precedente o a causa di problemi di logistica interna;
- Il tempo di cambio inserto o utensile;
- Il tempo di carico e scarico pezzo.
- Il tempo di fermo dovuto al guasto macchina.

Andando ad inserire nelle apposite sezioni il codice dell'articolo e la descrizione della fase sul software OverOne (vedi fig. 18), si ottiene una lista con i tempi effettivi di lavorazione, i tempi effettivi di fermo, il numero di pezzi buoni e quelli di scarto di ogni commessa.

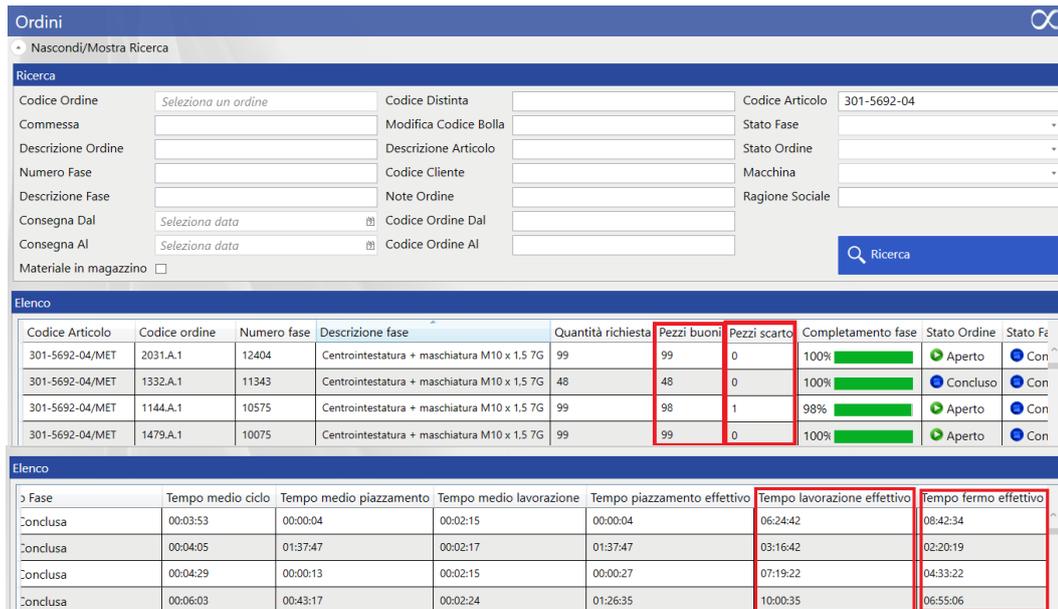


Figura 18 - Analisi dei tempi nella sezione "Ordini" su OverOne

Con “effettivi” si intende la somma di tutti i tempi di lavorazione o di fermo di quella commessa, per tale ragione tramite un foglio di calcolo Excel ho calcolato il tempo di lavorazione come:

$$t_{lav} = \frac{t_{lav_eff}}{pz_{buoni} + pz_{scarto}}$$

e il tempo di fermo come:

$$t_{fermo} = \frac{t_{fermo_eff}}{pz_{buoni} + pz_{scarto}}$$

La prima osservazione è che i tempi di lavorazione (basta leggere in fig.18 sotto la voce “tempo medio lavorazione”), ovvero il tempo macchina, tra le diverse commesse non discostavano di molto tra di loro; diversamente accade per i tempi di fermo. Quindi, per trovare un valore significativo è stata fatta la media tra i diversi tempi di fermo di tutte le commesse presenti in modo tale da trovare un valore veritiero e che tenga in considerazione i vari scenari.

Dopo aver raccolto i tempi ciclo per ogni fase, si è individuata la fase che avesse un tempo ciclo ridotto: si è notato che per tutti gli articoli la fase di centro-intestatura è la fase che richiede un tempo macchina minore rispetto alle altre.

3 DESCRIZIONE ARTICOLO E CICLO DI LAVORAZIONE

Dato che la fase da automatizzare è la centrintestatura e quindi andando a lavorare direttamente il pezzo grezzo, un ulteriore step è stato quello di chiedere ad ogni fornitore i disegni del pezzo grezzo oltre a quello del pezzo finito. Questo perché tramite il disegno 3D del grezzo lo scanner riesce a riconoscerne la forma.

Per il mio percorso di tesi ho prestato maggiore attenzione su un articolo in particolare, ovvero l'albero 301-5693-05 per la Metalcastello S.p.a. (albero utilizzato per la trasmissione dei Caterpillar senza uomo a bordo).

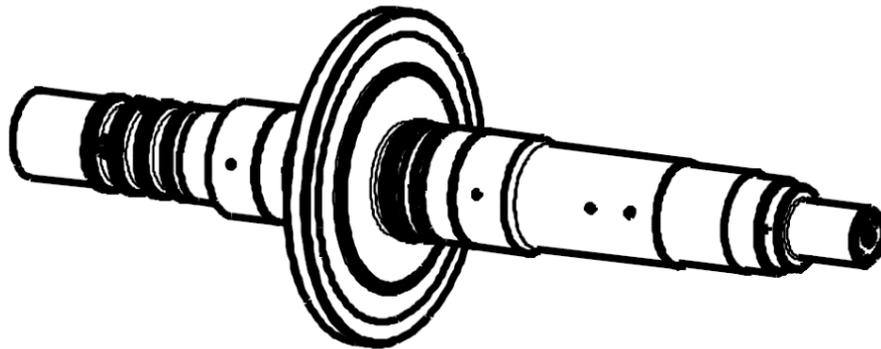


Figura 19 - Albero 301-5963-05

Di seguito vengono riportati il disegno 3D e 2D (quotato) del pezzo grezzo preso in analisi:

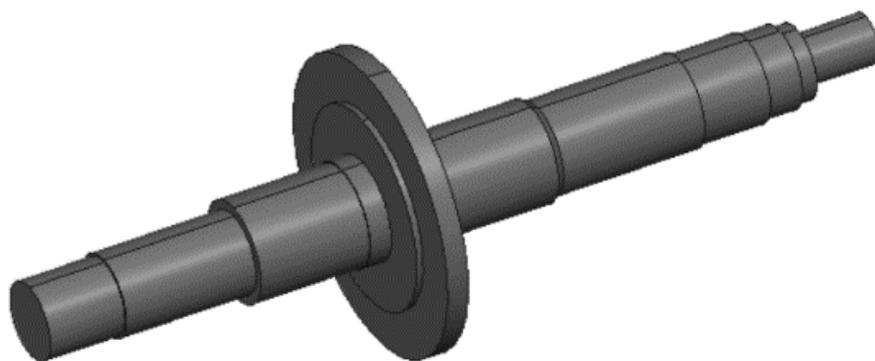


Figura 20 - disegno 3D del pezzo grezzo

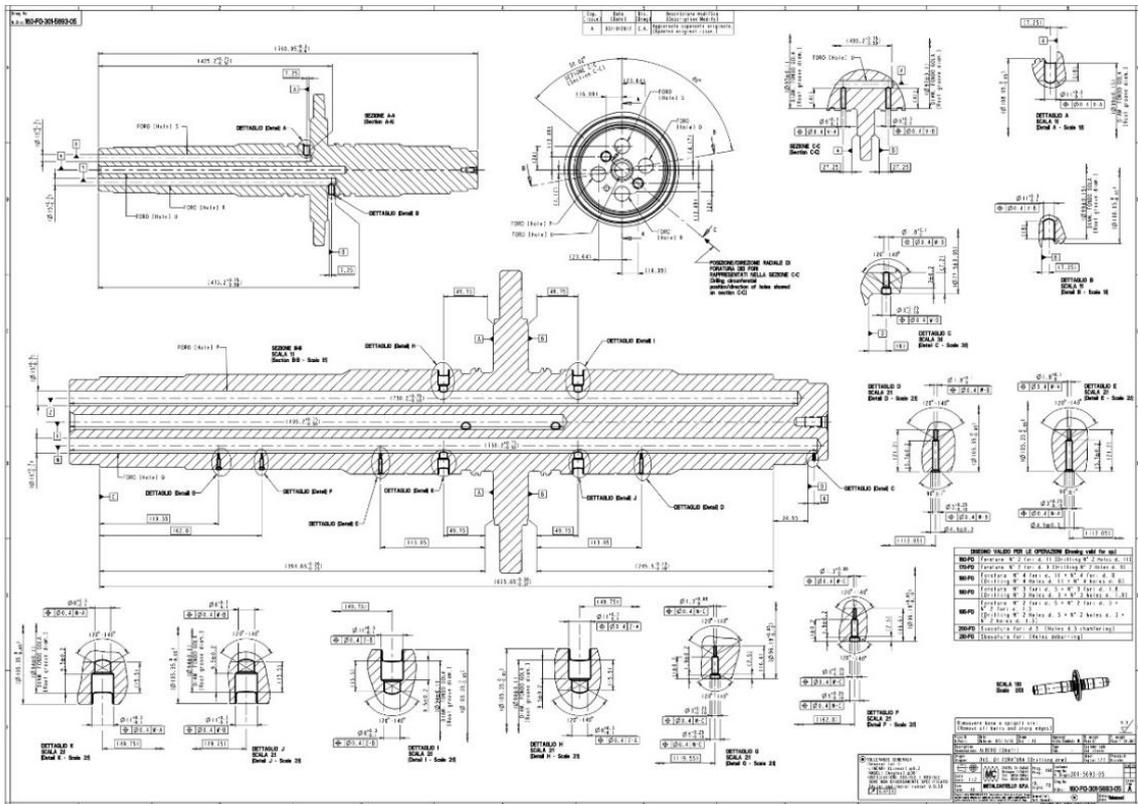
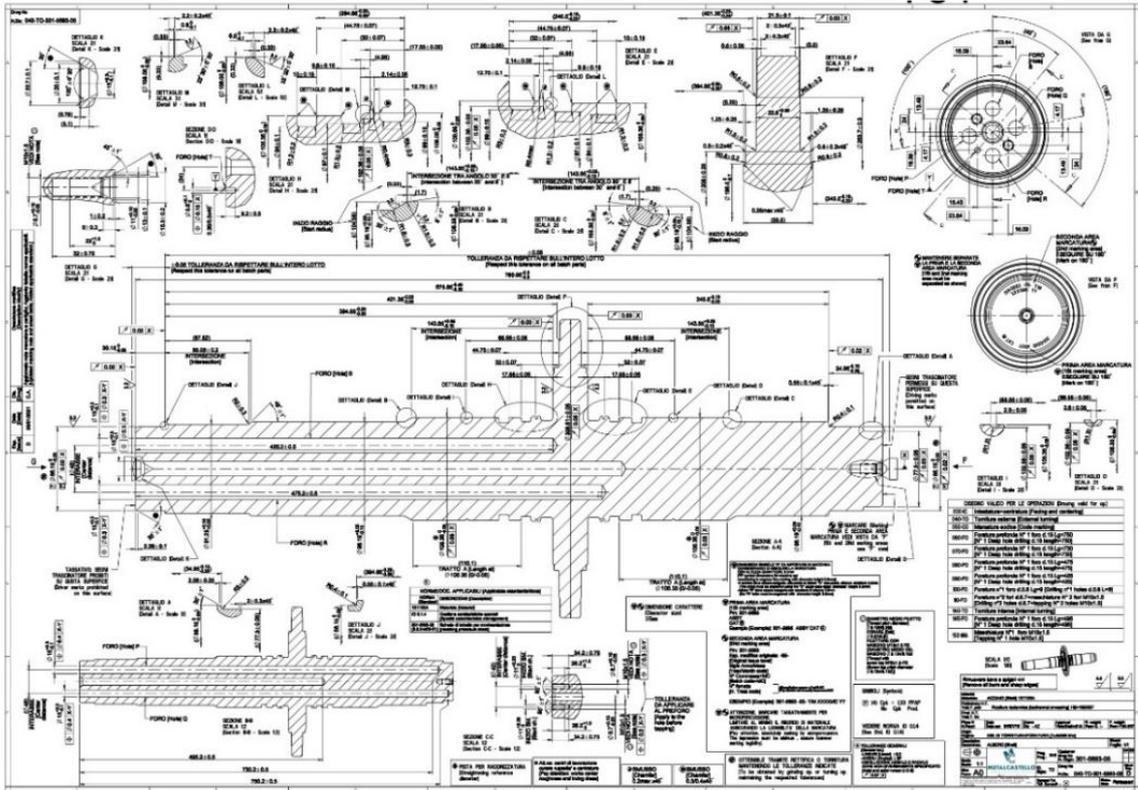
Come si evince dalla figura 21, l'articolo preso in considerazione è un albero flangiato lungo 766 mm e con la flangia larga 311 mm, ciò lo rende uno degli alberi più ingombranti e pesanti lavorati in azienda.

Il materiale utilizzato è un acciaio legato al cromo-molibdeno con buone proprietà di resistenza e tenacità; i trattamenti termici utilizzati sono la ricottura isoterma e la pallinatura.

Nell'Aprile 2016, ricevuta la domanda del cliente, è stata formulata l'offerta per la lavorazione del codice di interesse (301-5693-05) avviando la procedura di accettazione commerciale della commessa.

Iniziata questa fase, il cliente invia del disegno 2D con tutti i particolari del componente meccanico e nel reparto di collaudo si procede con lo studio di questo in modo da garantire tutte le specifiche richieste.

Nel caso di un articolo già presente in archivio, si pone l'attenzione sullo storico delle variazioni del disegno, e si segnalano le modifiche riscontrate. Si procede poi con la realizzazione del pallinato del disegno contenente la numerazione delle quote accompagnato da un documento descrittivo di data di ricezione, collocazione dell'archivio, annullamento versioni precedenti, segnalazione aggiornamenti e ID del codice barcode del cartellino (vedi fig. 22 e 23, relativi alle lavorazioni di tornitura e foratura).



La procedura per l'accettazione del prodotto (PPAP) consiste nella compilazione di una documentazione tecnica e la campionatura dell'articolo (PSW), traduzione in valori numerici delle possibili variabili di ogni lavorazione (FMEA), compilazione del ciclo di lavorazione del pezzo e scheda di autocontrollo per indicare i controlli da eseguire a bordo macchina o la frequenza di passaggio in zona collaudo.

Ovviamente prima della lavorazione propria del pezzo avviene, da parte di un responsabile di reparto, la preparazione della macchina e si avvia il protocollo per l'ottenimento del benessere (Cartellino VERDE) del pezzo (vedi fig. 24), che valida la conformità con le richieste del disegno; nel caso di risultato negativo il componente in questione viene identificato con un cartellino adibito al ripasso, allo scarto o alla segnalazione. Definita la quantità di pezzi prototipi e pre-lancio, sono state regolate le condizioni dell'ordinazione e ricevute le serie con grezzi comuni per la prima fase di lavorazione.

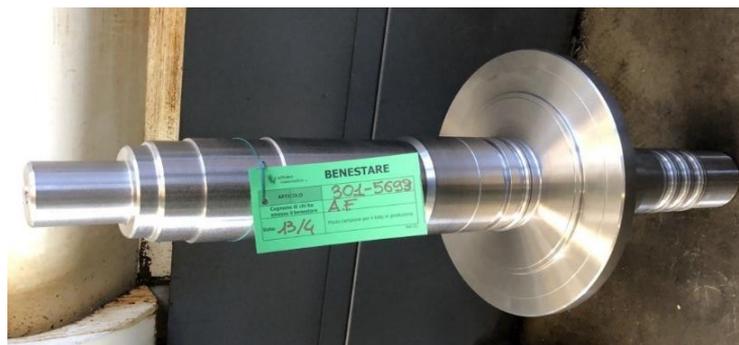


Figura 24 - Benestare

3.1 Cartellino e Ciclo di Lavorazione

La pianificazione della produzione è gestita tramite la generazione di un cartellino di lavoro che consente di stabilire la sequenza delle fasi del ciclo di lavoro dell'albero di trasmissione. Una volta stimato il tempo ciclo, il capo officina insieme ai responsabili dei reparti collaudo e logistica verificano quali siano le macchine operatrici da coinvolgere nella produzione, ovviamente scegliendo quelle che non stanno effettuando delle lavorazioni su altri articoli.

Sul cartellino non è indicata la fase iniziale in magazzino, dove arrivano i pezzi grezzi: questi vengono ricevuti in appositi cassoni dell'azienda fornitrice di stampaggi a caldo

(vedi fig. 25), in questo caso la C.F.T. S.p.a., segue la pesatura del cassone per il conteggio dei pezzi e, infine viene stoccato in magazzino in attesa di essere lavorato.



Figura 25 - cassoni con pezzi grezzi

Di seguito viene riportato il cartellino con il ciclo di lavorazione da eseguire:

		<h1>METALCASTELLO S.P.A.</h1>		
301-5693-05		COMMESSA		
NOTE:		LOTTO	QUANTITA	
Op.	Descrizione Fase	N° Fase	Barcode	Eseguito
10	Centrointestatura + maschiatura M10 x 1,5 7G	XXXX		
20	Sgrossatura	XXXX		
30	Foratura assiale n.4 fori diam 15	XXXX		
40	Tornitura	XXXX		
50	Foratura Radiale + Maschiatura	XXXX		
60	Marcatura	XXXX		
70	Pezzo finito (da pesare) COGNOME:	XXXX		

Figura 26 - Cartellino

Le lavorazioni eseguite sono:

- La Centrointestatura + Maschiatura (Op. 10), eseguita sulla centrointestatrice, permette di realizzare l'asportazione degli strati superficiali di metallo grezzo alle estremità del pezzo con conseguente realizzazione di una superficie più liscia alla

base e alla sommità, la realizzazione del centrino che è indispensabile quando il semilavorato deve passare in tornitura, infatti senza di esso il pezzo non sarebbe posizionabile all'interno del tornio ed, infine, viene eseguita la realizzazione della maschiatura M10 x 1,5 7G. Il tempo macchina è di 3 minuti e 46 secondi con una produzione oraria di 7,96 pezzi;

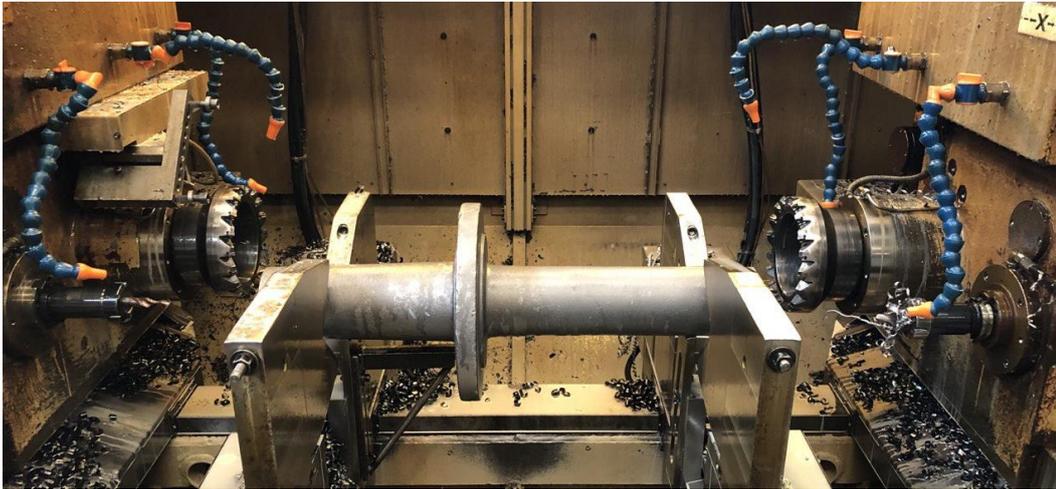


Figura 27 - Centrintestatura

- La sgrossatura (Op. 20), eseguita sul tornio, consiste nella rimozione del grosso dei residui. Il tempo macchina è di 26 minuti e 33 secondi con una produzione oraria di 2,10 pezzi;
- La foratura assiale di 4 fori con un diametro di 15 mm (Op. 30), viene eseguita su una foratrice usando come utensile la punta cannone. Il primo metodo consiste nell'utilizzo appunto di una punta detta "a cannone" con lubrificazione interna di olio da taglio intero; i trucioli e l'olio caldo vengono evacuati lungo la scanalatura esterna dell'utensile. Dopo il filtraggio e il raffreddamento l'olio viene riportato ad alte pressioni e riutilizzato nella lavorazione. [2]
Il tempo macchina è di 22 minuti e 35 secondi con una produzione oraria di 2,35 pezzi;



Figura 28 - Foratura tramite punta cannone

- La Tornitura (Op. 40), prevede l'asportazione del sovrametallo e la definizione del profilo cilindrico del componente meccanico in lavorazione. Viene eseguita su un tornio con doppio mandrino orizzontale a controllo numerico. Il tempo macchina è di 23 minuti e 10 secondi con una produzione oraria di 2,32 pezzi;



Figura 29 - Tornitura

- La foratura radiale e la maschiatura dei fori (Op. 50) viene eseguita sul centro di lavoro REMACONTROL LEONARD ad asse verticale, dove l'asse del mandrino si trova in posizione verticale rispetto alla base su cui si pone il pallet. Il tempo macchina è di 20 minuti e 3 secondi con una produzione oraria di 2,49 pezzi;



Figura 30 - Foratura radiale

- La Marcatura (Op. 60) permette di incidere un logo, un marchio o un numero di serie o un codice datamatrix, sul componente meccanico al fine di consentire un'agevole identificazione di ogni componente nel sistema di tracciabilità della filiera industriale. Un esempio delle informazioni date dalla marcatura è il numero di colata, il numero di lotto o la data di lavorazione. Questa fase viene eseguita da una marcatrice a micropercussione o micropunti; Questa fase viene eseguita subito dopo l'operazione 60.



Figura 31 - Marcatura

- L'imballaggio prevede che gli alberi vengano predisposti su apposite barelle in acciaio, dove per ogni barella si possono posizionare 3 pezzi che non hanno nessun contatto tra loro grazie all'ausilio delle aste di sostegno. Di seguito vengono riportate il disegno e la scheda contenente le informazioni dell'imballaggio:

INFORMAZIONI IMBALLO ESTERNO				
	Lunghezza	Profondità	Altezza	
Dimensioni imballo :	1000	800	800	mm.
Codice imballo :	BARELLA			
Peso (tara) imballo :	100			kg.
Peso pezzo singolo :	52,6			kg.
Numero di pezzi primo ripiano :	3			
Numero di pezzi secondo ripiano :	-			
Numero di pezzi terzo ripiano :	-			
Numero ripiani :	1			
Peso imballo finito (Lordo) :	257,8			kg.
Numero pezzi totale per unità imballo	3			

Figura 32 - Dettagli Imballaggio

3.2 Tempi ciclo e considerazioni sulla produzione

Di seguito vengono riportati i tempi ciclo nel dettaglio per ogni fase di lavorazione:

Tabella 2 - Tempi ciclo

Fase	Tempo ciclo [hh:mm:ss]	Tempo Macchina [hh:mm:ss]	Tempo Fermo [hh:mm:ss]	% Fermi	Produzione Oraria
Centroidestatura + maschiatura M10 x 1,5 7G	0:07:33	0:03:46	00:03:37	48,04%	7,96
Sgrossatura	0:28:33	00:26:33	00:02:00	7,00%	2,10
Foratura assiale n.4 fori Ø15 mm	0:25:31	00:22:35	00:02:46	10,84%	2,35
Tornitura	0:25:54	00:23:10	00:02:43	10,52%	2,49
Foratura Radiale + maschiatura	0:24:04	00:20:03	00:04:01	16,67%	2,32

Come si evince dalla tabella 2 la centroidestatura oltre ad avere un tempo macchina basso, ha la percentuale di fermo più elevata rispetto alle altre fasi, di conseguenza uno degli obiettivi sarebbe, a fronte di un tempo macchina già ridotto, ridurre il tempo di fermo. Inoltre, osservando i tempi ciclo e la produzione oraria delle altre fasi, il collo di bottiglia si individua durante la sgrossatura: questa prevede una lavorazione di circa 28 minuti e una produzione oraria di 2 pezzi.

Nel caso dell'albero preso in analisi uno delle cause dell'alta durata del tempo di fermo è dovuta alla movimentazione del pezzo stesso: l'albero 301-5693-05 arriva come pezzo grezzo con un peso di quasi 90 kg, quindi è necessario aiutarsi con un sollevatore pneumatico, equipaggiato di una presa magnetica (vedi fig. 33).



Figura 33 - Sollevatore pneumatico Dalmec e presa con magnete permanente

3.3 Analisi della fase di centrintestatura

Dato che il braccio meccanico viene affiancato alla centrintestatrice, è necessario descrivere: la macchina operatrice utilizzata e la fase eseguita su questa.

La macchina operatrice utilizzata per tale fase è una Centrintestatrice Comini MM-230, è dotata di 6 mandrini su manicotti mobili ad eccezione dei mandrini di fresatura, con 6 assi controllati (1 asse “X” e uno “Z” per ciascuna testa, più quelli del sistema elettromeccanico di morsaggio). Le lavorazioni eseguibili su tale macchina sono: fresatura, centrinatura, foratura, maschiatura, smusso e colletto con utensili dedicati. [3]



Figura 34 - Centrintestatrice Comini MM 230 e particolare doppio mandrino [3]

Inoltre, è da considerarsi che la macchina operatrice presa in considerazione è la centrintestatrice più grande presente in azienda: ovviamente si è scelto di automatizzare questa macchina in modo da poter lavorare sia pezzi di piccola dimensione che quelli molto grandi, come l'albero 301-5693-05 preso in analisi.

Il motivo per cui non si è deciso di automatizzare centro-intestatrici di piccola dimensione è perché quest'ultime lavorano pezzi di dimensioni ridotte, quindi si ha oltre ad un tempo

di lavorazione molto basso (di massimo un minuto) anche un tempo di carico e scarico pezzo ridotto: quindi andando ad automatizzare la centrotintestatrice che lavora gli articoli più pesanti o più ingombranti porterebbe ad avere delle migliorie sia da un punto di vista del tempo ciclo sia in termini di sicurezza sul posto di lavoro.

Per quanto concerne l'albero 301-5693-05 le fasi eseguite su tale macchina sono quella di Centrotintestatura e di Maschiatura.

3.3.1 Fase di carico e scarico pezzo

Prima di entrare nel dettaglio della lavorazione eseguita è doveroso mostrare come avviene la fase di carico del pezzo sulla macchina, facendo riferimento alla figura 35:

- a) l'operatore si aiuta dapprima con una fascia per spostare quello che è per lui il pezzo migliore da prendere;
- b) una volta afferrato il pezzo con il magnete permanente inizia la fase di movimentazione dell'albero verso la centrotintestatrice;
- c) il pezzo viene posizionato sul portapezzo e si avvia la lavorazione.

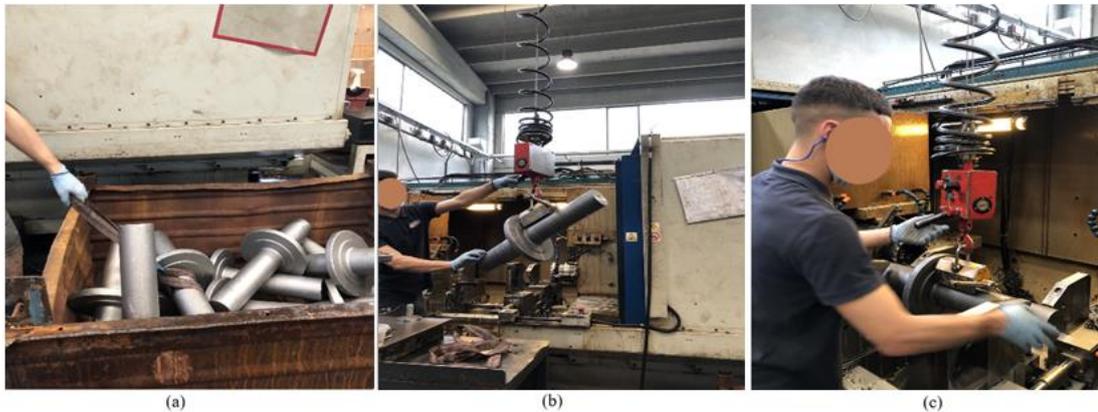


Figura 35 - Fase di carico dell'albero

Per quanto riguarda la fase di scarico, il procedimento è il medesimo di quella di carico ma viene eseguita al contrario. Ovviamente, durante queste fasi l'operatore deve prestare la massima attenzione e, come è possibile vedere in figura 35.b, mantenere il pezzo con le braccia tese in modo da trovarsi a debita distanza in caso di guasto da parte del magnete o del sollevatore meccanico. Ritornando a quanto detto prima riguardo la sicurezza sul posto di lavoro, con l'ausilio del robot antropomorfo si andrebbero ad eliminare completamente tutti i rischi dovuti alla movimentazione di tale pezzo.

3.3.2 Descrizione della fase

L'operazione di Centrintestatura è l'insieme di due lavorazioni per asportazione di truciolo, ovvero sfacciatura e la centratura.

La sfacciatura permette di ottenere superfici piane perpendicolari all'asse di fresatura tramite una fresa cilindrico-frontale per spianatura (vedi fig. 36).

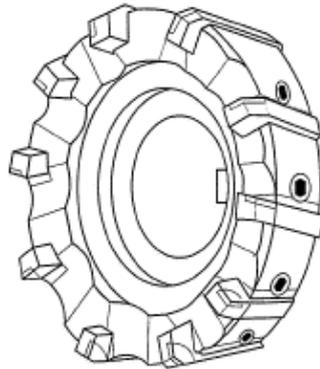


Figura 36 - Fresa cilindrico-frontale [4]

La caratteristica di questa fresa è che i taglienti sono disposti in modo perpendicolare alla superficie cilindrica su cui giacciono. Durante questa operazione l'asse di rotazione della fresa è normale alla superficie da sfacciare e ogni dente asporta un truciolo con spessore poco variabile tra il punto di ingresso A e quello di uscita C.

Ovviamente la rugosità superficiale dipende dagli angoli del profilo di ogni dente e dall'avanzamento per dente a_z . L'utilizzo della fresatura frontale permette di avere in contemporanea un numero maggiore di denti in presa, quindi minori fluttuazioni delle forze di taglio. [4]

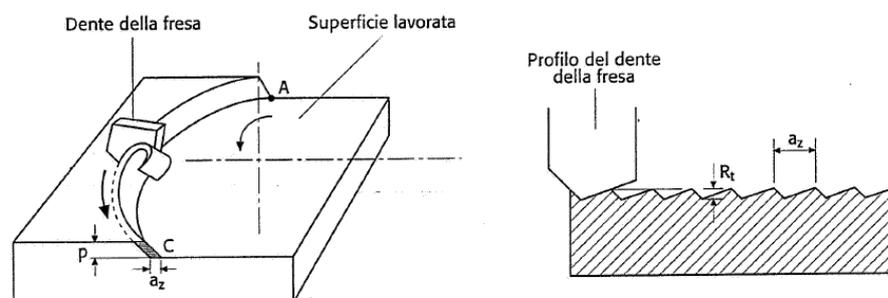


Figura 37 – Modalità di lavoro (sinistra) e generazione della superficie lavorata (destra) [4]

Dato che i torni e i centri di lavoro presenti in azienda hanno un sistema di bloccaggio caratterizzato da un trascinatore e una contropunta è necessario che i pezzi da lavorare abbiano il centrino su entrambe le estremità.

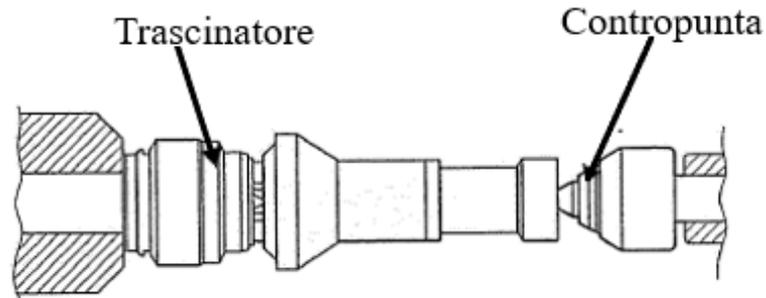


Figura 38 - Sistema di bloccaggio [4]

La lavorazione che permette l'esecuzione del centrino è la centratura tramite punta a centrare. In questo caso si effettua un centrino di diametro di 15,5 mm sul lato dove viene effettuato anche una maschiatura M10 X 1,5 e uno di diametro 22,7 mm.

La maschiatura, ovvero la fase in cui si effettua la filettatura dei fori, avviene tramite un utensile monotagliante con il profilo desiderato per ottenere una filettatura con diametro nominale di 10 mm e passo di 1,5 mm. Solitamente questa fase viene effettuata sui torni dove il pezzo ruota e l'utensile avanza, ma in questo caso, nella centrointestatrice, è il maschio che ruota e avanza mentre il pezzo è fermo.

3.3.3 Codice ISO

Il codice ISO che segue è l'insieme di due programmi caricati per la lavorazione di centointestatura (uno per il mandrino destro e l'altro per il mandrino sinistro):

```
.;***** PREDISPOSIZIONI DX*****  
;R45=380.35 ; Lunghezza pezzo da centro  
R50=60 ;Sbalzo pezzo da morse  
.;*****  
NN:  
N1 IF $MC_CHAN_NAME=="Testa_Destra" GOTOF OKN  
MSG("PROGRAMMA NON ADATTO ALLA TESTA SINISTRA")  
M00  
GOTOB NN  
OKN:  
R90=R45+200 ;Quota svincolo  
STOPRE  
$P_UIFR[1,X,TR]=0 ;Forza G54  
$P_UIFR[1,Z,TR]=R45 ;Forza G54  
TEMPER ;COMPENSAZIONE TEMPERATURA  
$TC_DP21[81,1]=_TESTADX_FORAT_Z  
$TC_DP23[81,1]=_TESTADX_FORAT_X  
$TC_DP21[50,1]=_TESTADX_MASCH_Z  
$TC_DP23[50,1]=_TESTADX_MASCH_X  
$TC_DP21[71,1]=0  
$TC_DP23[71,1]=0  
STOPRE  
IF _PEZZI_UT[70] > 1000  
M27 ;FRESA  
POSIZIONE_CAMBIO  
ENDIF  
IF _PEZZI_UT[81] > 1000  
M26 ;PUNTA  
POSIZIONE_CAMBIO  
ENDIF  
IF _PEZZI_UT[50] > 1000  
M28 ;MASCHIO  
POSIZIONE_CAMBIO  
ENDIF  
MORSA_DX(R45-R50) ;Posiziona Morsa  
STOPRE  
/7 N1 WAITM(1,1,2) ;Attesa canale 1  
STOPRE  
/7 N1 WAITM(1,1,2) ;Attesa canale 1  
G54  
.;*****Inizio Lavoro*****  
FRESATRICE_DX ;Attiva fresa D200  
T70 D1  
M4 S380  
G0 X-160 ;Posizione di svincolo  
G0 Z.1 M8 ;Acqua  
/7 N1 WAITM(1,1,2) ;Attesa canale 1 PER INIZIO CONTEMPORANEO  
G1 X-37 F400 ;Fresatura
```

```

GOZO

M4 S600

G1 X-160 F300
G0 Z10
M9 M5 ;stop acqua

FORATRICE ;Attivo foratrice
T81 D1
G0 X0 Z50
CENTRINO_A10 ;ATTIVO FORATURA
G0 Z40 ;Svincolo finale
M51 ;Ritorno canotto foratura
M53 M9 M5

MASCHIATRICE
T50 D1
G0 X0

CENTRINO_B8_X17

M53 M9 M5
;*****Fine Lavoro*****
FINE:
G54
T70 D1 ;Mandrino Fresa
G0 X-200
G0 Z100 ;Posizione inizio lavoro
STOPRE
M69 ;Assi in posizione inizio
IF $A_IN[3] == TRUE
  _PEZZI_UT[70] = _PEZZI_UT[70] + 1
  _PEZZI_UT[81] = _PEZZI_UT[81] + 1
  _PEZZI_UT[50] = _PEZZI_UT[50] + 1
ENDIF
/7 N200 ;M63 ;Discesa fermo barra
M30

;***** PREDISPOSIZIONI SX*****
R45=380.35 ;Lunghezza pezzo da centro
R50=74.2 ;Sbalzo pezzo da morse
;*****
NN:
N1 IF $MC_CHAN_NAME=="Testa_Sinistra" GOTOF OKN
MSG("PROGRAMMA NON ADATTO ALLA TESTA DESTRA")
M00
GOTOB NN
OKN:
R2=0
ID=1 WHENEVER ($AC_STAT == 2) DO $R2=$R2 + 1
R90=R45+200 ;Quota svincolo
STOPRE
$P_UIFR[1,X,TR]=0 ;Forza G54
$P_UIFR[1,Z,TR]=R45 ;Forza G54
TEMPER ;COMPENSAZIONE TEMPERATURA

```

```

$TC_DP21[1,1]=_TESTASX_MASCH_Z
$TC_DP23[1,1]=_TESTASX_MASCH_X
$TC_DP21[30,1]=_TESTASX_FORAT_Z
$TC_DP23[30,1]=_TESTASX_FORAT_X
$TC_DP21[21,1]=0
$TC_DP23[21,1]=0
STOPRE
  IF _PEZZI_UT[20] > 1000
  M27 ;FRESA
  POSIZIONE_CAMBIO
  ENDIF
  IF _PEZZI_UT[30] > 1000
  M26 ;PUNTA
  POSIZIONE_CAMBIO
  ENDIF
  IF _PEZZI_UT[1] > 1000
  M28 ;MASCIO
  POSIZIONE_CAMBIO
  ENDIF
MORSA_SX(R45-R50) ;Posiziona morsa
STOPRE
  G54 ;Origine G54
/7 N1 WAITM(1,1,2) ;Attesa canale 2
  G54
  T20 D1
  G0 Z0
  X-260
  G1 F1500 Z0
  M61 M56 ;Chiusura morse e riparo
  G0 Z0
  M62
  STOPRE
/7 N1 WAITM(1,1,2) ;Attesa canale 2
  M61 M56 ;Chiusura morse e riparo
  M24 ;LAVAGGIO
  STOPRE
  G54 ;Origine G54
;*****Inizio Lavoro*****
FRESATRICE_SX ;Attiva fresa D120
  T20 D1
  M3 S380 ;Velocita mandrino
  G0 X-160 ;inizio Fresatura
  G0 Z.1 M8 ;Accostamento e acqua
/7 N1 WAITM(1,1,2) ;Attesa canale 2 PER INIZIO CONTEMPORANEO
  G1 X-37 F400 ;Fine Fresatura

  G0 Z0

  M3 S600

  G1 X-160 F300
  M9 ;stop acqua
  G0 Z10
  M9

FRESATRICE_SX ;Attiva fresa

```

```
T21 D1
G0 Z30
G0 X0
PREFOROM10_METALCASTELLO
G0 Z50 M5 ;Svincolo finale
M5 M9
```

```
FORATRICE ;Attivo foratrice
T30 D1
G0 X0
PUNTA_M10_METALCASTELLO ;ATTIVO FORATURA
G0 Z50 ;Svincolo finale
M51 ;Ritorno canotto foratura
M53 M9 M5
```

```
MASCHIATRICE
T1 D1
G0 X0
MASCHIO_M10X1_5_7G
M53 M9 M5
```

```
;*****Fine Lavoro*****
```

```
FINE:
G54
T20 D1 ;Mandrino fresa
G0 X-260 ;
G0 Z100 ;Posizione per fermo barra Z
STOPRE
M69 ;Assi in posizione inizio pezzo
/7 N100 WAITE(2);Attesa fine canale 2
STOPRE
_TEMPO_CICLO = R2*0.012 R2=0
IF $A_IN[3] == TRUE
_CONTAPEZZI = _CONTAPEZZI + 1
_PZZI_UT[20] = _PEZZI_UT[20] + 1
_PZZI_UT[30] = _PEZZI_UT[30] + 1
_PZZI_UT[1] = _PEZZI_UT[1] + 1
ENDIF
M91 ;Start caricatore
/7 N300 M63 ;Discesa fermo barra
/7 N300 M60 M25 M55;Apertura morse e riparo
IF _CONTAPEZZI >= _PEZZI_LOTTO
M29 ;MSG("PEZZI LOTTO TERMINATI")
ENDIF

M30
```

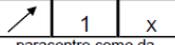
3.3.4 Controllo dimensionale

Un'ulteriore mansione svolta dall'operatore è quella di controllo dimensionale a bordo macchina in modo tale da evitare di portare in modo ricorrente il pezzo lavorato in controllo qualità: infatti sulla propria postazione si avranno tutti gli strumenti necessari per effettuare i vari controlli e la scheda di autocontrollo, posizionata sulla postazione a bordo macchina in modo che sia visibile dall'operatore.

Di seguito viene riportata la scheda di autocontrollo relativi alla lavorazione di centrintestatura dell'albero 301-5693-05:

		SCHEDA AUTOCONTROLLO E PIANO DI CONTROLLO				Edizione 01	
SISTEMA QUALITA'		MR-09-01				Revisione 03	

Ns. articolo	Esp.	Operazione			Data	Codifica
040-TO-301-5693-05	D	10 Centrintestatura			03/11/2017	Metalcastello 65
Denominazione macchina		Controllo visivo operazione precedente		Reparto		
Centrintestatrice		elemento stampato		Centrintestatura		
Caratteristica tutte	Tolleranza a disegno	Responsabile controlli collaudo	Frequenza 1° pezzo	Mezzi di controllo strumenti S.M.	Registraz. si	Archivio moduli benessere

	C/C	Utensile	Strumento	Freq.	Descrizione		C/C	Utensile	Strumento	Freq.	Descrizione
1			base+comparatore	1/3	controllo lunghezza tot. ## mm 760,7 +/-0,05	10			cono + comparatore	1/3	controllo centro lato lungo ## 0 +/-0,05
2			cono + comparatore	1/3	controllo centro lato corto ## 0 +/-0,05	11			Tampone M10	1/1	avvitare tampone M10 fino in battuta
3			(altmetro)	1/50	controllo sovrametalli e rasamenti	12			visivo	1/1	lavorazione ben eseguita
4			punte + comparatore	1/50	 1 X	13					
5			cono + comparatore	1/3	paracentro come da campione ## 0 +/-0,05	14					
6			Calibro	1/20	controllo diametro d.15,5 +/-0,1	15					
7			Tampone P/NP M10 x 1,5 -7G	1/5	controllo maschiatura M10 x 1,5 -7G	16					
8			(Tampone M12 + Altimetro)	1/30	controllo utile M12 mm 23 +1,5	17					
9			Calibro	1/20	controllo diametro d.11 +0,25/-0,05	18					

Note: ## CONTROLLARE L'AZZERAMENTO DEL COMPARATORE OGNI 3 PEZZI CON IL PEZZO CAMPIONE .
LE QUOTE DA MISURARE CON IL " CALIBRO " () VANNO CONTROLLATE IN COLLAUDO DAL PERSONALE INCARICATO

C/C	o	▶	caratteristica di controllo	Piano di reazione a non conformità	Visto Controllo Qualità	Visto capo reparto
S	o	⊗	caratteristica di sicurezza	Vedi procedura n° 3		

Figura 39 - Scheda di autocontrollo

I controlli più frequenti sono i seguenti:

- il controllo visivo e della filettatura M10, che vengono effettuate per ogni pezzo lavorato;
- Il controllo della lunghezza totale, del centrino sul lato orto e sul lato lungo, che vengono effettuati ogni 3 pezzi lavorati;
- Il controllo della maschiatura con un tampone passa/non passa, che viene effettuato ogni 5 pezzi lavorati.

Tutti gli altri controlli vengono effettuati con meno frequenza. Inoltre, come si deduce dalla scheda, l'operazione 8 deve essere eseguita in collaudo dal personale incaricato. Gli strumenti presenti in centrointestatura per il controllo dimensionale sono:

- Cono comparatore: questo strumento viene utilizzato per il controllo della profondità del centrino; si contraddistingue grazie alla parte conica presente sull'estremità di un corpo cilindrico metallico. L'estremità conica viene inserita all'interno del centrino, si rileva una misura che deve rispettare le tolleranze riportate sulla scheda di autocontrollo.



Figura 40 - Cono comparatore

- Base + Comparatore: questo strumento viene utilizzato per il controllo dello spostamento lineare, quindi per il controllo dei rasamenti. La caratteristica di questo strumento è data dalla presenza di un'asta cilindrica mobile: nella parte superiore è presente il tastatore (fig. 41.b), che viene posto a contatto con la superficie del pezzo da misurare; mentre sul banco si ha la base (fig. 41.c) che permette il corretto posizionamento dell'albero.



Figura 41 - Base + Comparatore

- Truschino graduato: questo strumento viene utilizzato per misurare la distanza verticale di un corpo da una superficie di riferimento, in questo caso per il controllo dei sovrametalli e dei rasamenti. È costituito da un'asta graduata fissata in modo ortogonale al basamento pesante in acciaio. Sull'asta scorre un corsoio e su quest'ultimo viene fissata una punta che serve da battuta per le quote da misurare. [5]



Figura 42- Truschino graduato

- Tampone P/NP (che sta per “passa/non passa”): questo strumento viene utilizzato per un controllo dimensionale della maschiatura, da un lato sarà impossibile avvitare il tampone mentre dall’altro si.



Figura 43 - Tampone passa/non passa

- Calibro: è uno strumento per la misura della lunghezza, nello specifico è adatto a misurare la distanza tra due facce piane, la profondità di un foro o la larghezza e la lunghezza di un oggetto. Nel calibro digitale vi è il montaggio di un indicatore elettronico che rileva lo spostamento del corsoio, mentre sul corpo viene normalmente incisa una scala millimetrata utilizzata per la verifica grossolana dello strumento elettronico. [6]



Figura 44- Calibro

4 AUTOMAZIONE TRAMITE BIN-PICKING

Lo scopo dell'automazione è quello di identificare una tecnologia che permetta di eseguire operazioni ripetitive, o complesse, o impossibili all'uomo e di controllarne i processi tramite sistemi di misura, di controllo e di attuazione con sistemi informatici.

I motivi per la quale si sceglie l'automazione possono essere riassunti nei seguenti punti:

- Relativamente alla produzione si sceglie di automatizzare per semplificare il lavoro, ottenere una riduzione dei tempi e avere una maggiore ripetibilità delle operazioni e della qualità;
- per sostituire compiti che vanno oltre le capacità umane o ne richiedono un ulteriore sforzo come pesi, velocità e tempi;
- quando sono richieste operazioni in ambienti insalubri.
- con l'aumentare dei volumi di produzione l'automazione costituisce un fattore di economicità. [7]

Andando ad automatizzare il processo di centrintestatura si andrebbero a risolvere la maggior parte dei problemi sopra elencati, ovvero:

- ridurre i tempi di fermo, infatti la centrintestatura ha, rispetto alle altre operazioni, i tempi di fermo più alti;
- limitare gli sforzi degli operatori e limitare situazioni pericolose, infatti, considerando l'articolo preso in analisi in questa tesi, il pezzo grezzo pesa quasi 90 kg ed è necessario utilizzare un sollevatore pneumatico.

Solitamente i robot utilizzati nella produzione sono programmati per ripetere in modo continuativo la stessa serie di movimenti, questo è possibile nel momento in cui i pezzi da movimentare sono disposti in contenitori standard e posizionati in una specifica posizione; dunque, è come se i manipolatori robotici fossero "ciechi" nei confronti dell'ambiente in cui lavorano. Questo tipo di applicazione è attuabile per lotti di produzione numerosi. Nel caso di O.L.V. Officina Meccanica, si ha una produzione con lotti limitati e variegati tra loro, nello specifico il lavoro di centrintestatura viene effettuato su oltre cento articoli, che possono differire per forma e dimensione, che, a loro volta, hanno contenitori tra loro diversi e, inoltre, sono disposti alla rinfusa. Dunque, in questo caso per poter automatizzare il processo di centrintestatura è strettamente

necessario equipaggiare i manipolatori robotici con sensori avanzati per la percezione dell'ambiente.

Ad occuparsi del progetto di automazione è stata la “Automation Technology”, un'azienda che lavora nel campo dell'automazione industriale, situata a Caselle Torinese. In un primo momento è avvenuto un incontro e un sopralluogo delle aree di lavoro di O.L.V. Officina meccanica, di seguito è stata definita una richiesta dove si è specificato la necessità di automatizzare una centrotintestatrice, da qui l'azienda ha richiesto maggiori specifiche sui prodotti lavorati sulla macchina, come vengono distribuiti nel contenitore i pezzi da lavorare e le varie operazioni che vengono eseguite a bordo macchina. Una volta ottenute tali informazioni e dopo uno studio interno da parte di Automation Technology è stato presentato un preventivo dove, oltre al prezzo d'acquisto, vi erano anche il robot e il sistema di scanner utilizzato: che sono rispettivamente il manipolatore ABB IRB 6600 e un sistema di visione 3D specifico per il bin-picking “EyeT+Pick” della “IT+Robotics”. Una volta accordatisi si è proseguito con la fase di progettazione, realizzazione, installazione e collaudo dell'isola robotizzata. Nel seguente elaborato si è posto una maggiore attenzione sulla fase di progettazione e realizzazione, in modo da spiegare al meglio il funzionamento del bin-picking.

Nello specifico le fasi di progettazione e realizzazione dell'isola robotizzata sono state le seguenti:

- Prima fase: raccolta dei CAD 3D dei pezzi grezzi e suddivisione in macrogruppi in base alla grandezza e la forma dell'articolo;
- Seconda fase: per ogni macrogruppo è stata progettata una mano magnetica e dopo la realizzazione è stata effettuata una prova in Officina per assicurarsi del corretto funzionamento di quest'ultimo;
- Terza fase: sono state raccolti gli ingombri della macchina operatrice da automatizzare ed è stato realizzato il layout dell'isola robotizzata in modo da permettere ad O.L.V. Officina meccanica di capire quale sia la zona dell'azienda più adatta per la disposizione di quest'ultima;
- Quarta fase: simulazione tramite il software “Smart Pick 3D Solid” per valutare le criticità del bin-picking e correzione di queste ultime;
- Quinta fase: realizzazione dell'isola robotizzata e installazione in azienda seguita da una fase di collaudo dove sono stati effettuati vari controlli durante l'afferraggio dei pezzi.

Di seguito vengono riportate le caratteristiche del Bin-picking, analizzandone i vari componenti che la caratterizzano e il suo funzionamento, l'isola robotizzata di centrointestatura e i risultati ottenuti tramite automazione.

4.1 Caratteristiche del Bin-picking

Con il termine bin-picking si intende la presa ("picking") di un oggetto disposto in maniera casuale in un contenitore ("bin") che contiene altri oggetti, con la stessa forma e dimensione, disposti alla rinfusa.

La cella di lavoro per il bin picking è caratterizzata dai seguenti componenti:

- Robot manipolatore: nello specifico verrà analizzato uno Robot antropomorfo della ABB di classe IRB 6600;
- Mano di presa magnetica;
- Sistema di visione, nello specifico verrà analizzato un sistema composto da una fotocamera centrale e due laser disposti in modo simmetrico rispetto ad essa;
- Un computer, che prende i dati del sistema di visione e, tramite un algoritmo, esegue il calcolo per stabilire quale sia il pezzo migliore da prendere e la traiettoria da far eseguire al manipolare durante la fase di afferraggio.

Si hanno tre principali fasi che rendono possibile la presa dell'oggetto, queste vengono riportate di seguito:

- Riconoscimento: questa fase permette di riconoscere gli oggetti tramite un matching tra la scansione effettuata tramite il sistema di visione e il CAD 3D dell'oggetto da riconoscere e tramite un algoritmo si sceglie quale sia il pezzo migliore da afferrare;
- Localizzazione: dopo l'individuazione del pezzo è necessario trovare le coordinate nello spazio di quest'ultimo e capire quale sia la modalità migliore di presa.
- Definizione della traiettoria del Robot: ovvero il percorso privo di collisioni che il manipolatore antropomorfo deve compiere per afferrare l'oggetto.

Affinché le ultime due fasi vengano eseguite in modo corretto è necessario eseguire delle simulazioni. Lato software, dopo aver indicato l'altezza dalla quale vengono versati i

pezzi nel contenitore e il numero di pezzi, è possibile simulare il processo di riempimento del contenitore in modo da avere una disposizione randomica dei pezzi veritiera.

Una volta ottenuto ciò, si aggiunge lato software il modello del robot, indicandone il tipo di presa e lo spazio di lavoro, e tramite simulazione si analizzano tutte le varie criticità durante la fase di afferraggio del pezzo dal contenitore, come ad esempio possibili collisioni oppure l'individuazione dei punti del contenitore dove non è possibile effettuare la presa. Ovviamente è necessario prima effettuare le simulazioni, trovare tutte le criticità durante la fase di afferraggio dell'oggetto e all'occorrenza customizzare la presa del robot.

La fase di riconoscimento avviene tramite un sistema di visione 3D; ad oggi le modalità con cui si effettua lo scanner 3D ad oggi sono:

- Visione stereo: è un dispositivo di scansione passivo ed economico, caratterizzato dall'utilizzo di due telecamere che inquadrano la stessa scena. Inoltre, l'accuratezza dipende dalle caratteristiche e dalla struttura dell'oggetto.
- Telecamera a tempo di volo ("Time of flight camera"): è un dispositivo di scansione attivo utilizzato per lunghe distanze, dai dieci ai cento metri; si hanno dei limiti di accuratezza, una bassa risoluzione e diverse problematiche legate all'elaborazione dei dati.
- Luce strutturata: anch'esso un dispositivo di scansione attivo e il suo funzionamento si basa sulla proiezione di un pattern direttamente sulla superficie dell'oggetto; infatti, il modo in cui il pattern si deforma quando colpisce le superfici dell'oggetto rende possibile al sistema di visione di raccogliere informazioni riguardo la profondità e la forma dell'oggetto. Ci sono diversi modelli di luce che possono essere utilizzati per queste applicazioni, tra quelli più utilizzati si hanno:
 - Luce infrarossa;
 - Stripe light patterns, che richiede un'analisi del pattern mediante trasformata di Fourier e codice Gray
 - Laser, che richiedono calcoli di triangolazioni [8]

4.1.1 Sistema di visione 3D

Nell'elaborato si pone maggiore attenzione sul sistema di scanner 3D a luce strutturata. Nello specifico il sistema di visione fornito da "Automation Technology s.r.l." è un "EyeT+Pick LT20" della "IT+Robotics" (vedi fig. 45).



Figura 45 - EyeT+Pick

Di seguito viene riportata una tabella con le caratteristiche principali:

Tabella 3 - Dati tecnici EyeT+ LT20

EyeT+ LT -20-900	
Campo Visivo (l x h) [mm]	900 x 1000
Distanza operativa [mm]	1300
Punti 3D	> 1.500.000 pt/s
Precisione	0.43 – 0.80
Precisione della profondità	0.28 – 0.50

I laser installati sul visore 3D producono una potenza di 5 mW con una lunghezza d'onda 660 nm. Il sistema di visione oltre allo scanner è dotato di altri due componenti, ossia un Motor pack (vedi fig. 46), composto a sua volta da un motore e un Control Box, e il software "Smart Pick 3D Solid".



Figura 46 - Motor Pack

Il motore è installato al centro del visore e serve a far oscillare l'asta dove sono installati i due laser durante la scansione del contenitore; invece, il Control Box gestisce la scansione e la velocità di rotazione del motore. Sia il Motor Pack che il sistema di visione sono collegati ad un computer dove vi è installato il software sopraccitato.

Le caratteristiche principali del software Smart Pick 3D Solid sono:

- Il riconoscimento e la localizzazione degli oggetti;
- La pianificazione della traiettoria;
- Creare un ambiente virtuale che permette la rilevazione di qualsiasi tipo di traiettoria e dove qualsiasi robot presente in commercio è supportata.

Il sistema di visione 3D in esame è composto da una telecamera ad alta risoluzione e due laser che sono disposti in maniera simmetrica rispetto alla telecamera; tramite la telecamera si riesce ad acquisire solo un'immagine in due dimensioni, dunque al fine di ricavare la profondità dell'oggetto rispetto a questa, è necessario utilizzare il processo di triangolazione. La profondità o l'altezza dell'oggetto si calcola in base a come viene deviata la luce laser dal suo corso naturale. Analizzando il caso in cui si ha un laser inclinato e una telecamera fissa, dove si utilizza un piano con una scacchiera come riferimento, in questo caso senza la presenza di alcun oggetto sulla scacchiera il fascio laser arriva ad illuminare una parte del piano. Quando si aggiunge un oggetto sulla scacchiera il fascio laser illumina il piano in modo diverso, fermandosi in un punto precedente a quello di riferimento; il quanto prima si ferma il laser determina l'altezza. Per comprendere come avviene la valutazione della profondità tramite triangolazione si considera il sistema semplificato in figura 47, dove:

- C rappresenta l'origine del sistema di coordinate della telecamera;
- L, l'origine da cui parte il fascio laser;
- β , indica l'inclinazione dell'emettitore laser;
- α , si calcola in base alla posizione del raggio laser percepito dalla telecamera, nello specifico si ha $\alpha = \arctg\left(\frac{f}{x}\right)$, dove a loro volta f e x indicano rispettivamente la lunghezza focale della telecamera e la distanza tra il punto nell'immagine e l'asse Z. [9]

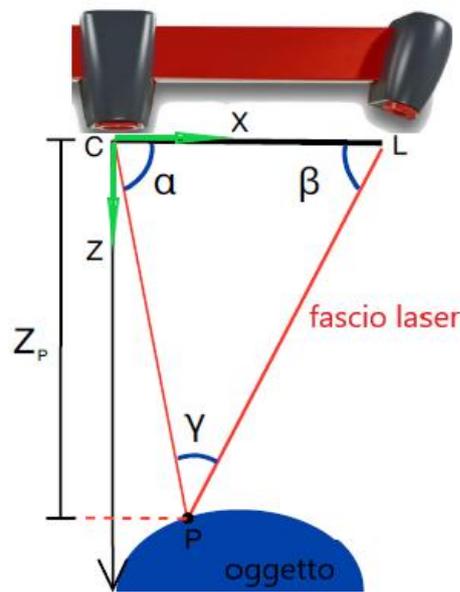


Figura 47 – Calcolo della profondità

Dunque, utilizzando le regole del seno si ottiene che:

$$\overline{CL} \cdot \sin \beta = \overline{CP} \cdot \sin \gamma$$

L'angolo γ si ottiene sapendo che la somma degli angoli interni di un triangolo è sempre 180° , di conseguenza:

$$\sin \gamma = \sin[\pi - (\alpha + \beta)] = \sin(\alpha + \beta)$$

Si ottiene, infine, la distanza tra la telecamera C e il punto colpito dal raggio laser P, come:

$$\overline{CP} = \overline{CL} \cdot \frac{\sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)}$$

Il calcolo effettuato può essere esteso anche nel caso in cui viene illuminato un'intera linea dell'oggetto.

Per l'acquisizione della rappresentazione tridimensionale dell'oggetto intero è necessario che il sensore si muova rispetto all'oggetto, questo avviene tramite il motore installato sul sistema scanner che permette di ruotare quest'ultimo in modo da colpire con il doppio laser tutte le zone necessarie per la rappresentazione.

L'acquisizione effettuata tramite la doppia linea laser il calcolo dell'altezza di ogni pixel della linea, associando ad ogni fotogramma una un vettore di valori di altezza. Dunque, dopo la scansione, lato software si avrà una ricostruzione caratterizzata da una nuvola di punti (vedi fig. 48), nello specifico avendo un doppio laser si ha una fusione tra le due nuvole di punti.

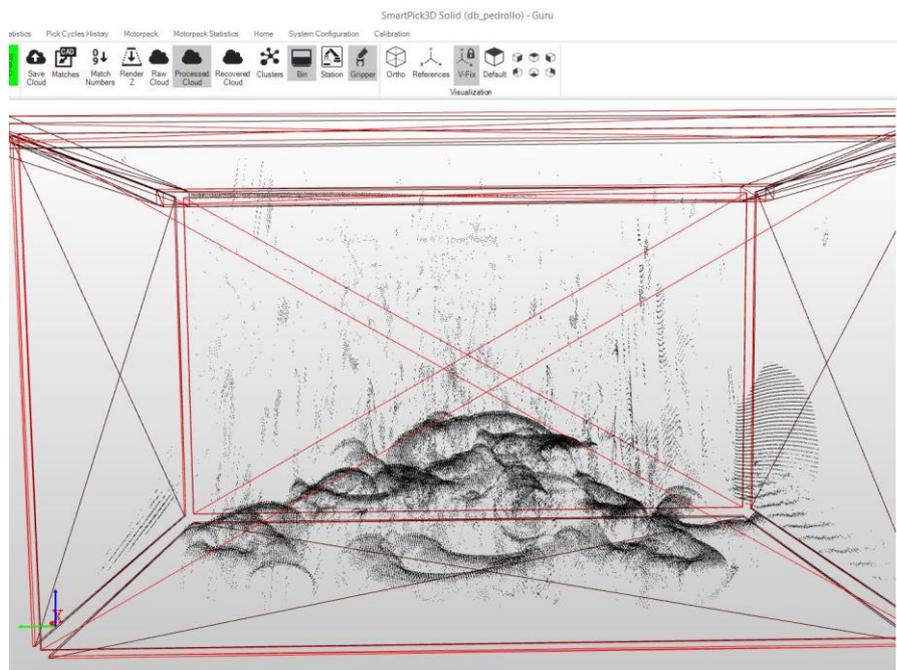


Figura 48 – Nuvola di punti

Una volta effettuata l'acquisizione e la generazione della nuvola dei punti affinché l'oggetto da afferrare venga riconosciuto è necessario eseguire un matching con il CAD 3D.

Il laser, oltre ad effettuare la triangolazione po' anche fungere da illuminatore, infatti le acquisizioni potrebbero essere effettuate al buio.

Una volta eseguita l'acquisizione viene effettuato il Clustering, che consiste in una *analisi multivariata dei dati volta alla selezione e al raggruppamento di elementi omogenei in un insieme di dati*. [10] Nel caso del bin picking si utilizza questa analisi durante il riconoscimento, dove è necessario scegliere il numero di punti da processare: se si hanno pezzi piccoli è necessario analizzare tutti i punti ottenuti durante lo scanner, quindi è richiesta tanta accuratezza; diversamente per pezzi di grande dimensione è inutile richiedere tanta accuratezza perché si avrebbero troppi punti da analizzare, e di conseguenza il tempo di scansione sarà elevato.

L'elaborazione della nuvola dei punti avviene tramite algoritmi per immagini 3D, nel caso preso in analisi viene utilizzato un software open source chiamata PCL, che sta per Point Cloud Library; la peculiarità di questo software è quella di contenere numerosi algoritmi, tra cui il filtraggio, la stima delle caratteristiche, la ricostruzione della superficie e la segmentazione.

Come riportato nel Workflow in figura 49, i passaggi di calcolo eseguiti sono i seguenti:

- si hanno due nuvole di punti, a sinistra è rappresentata la nuvola di punti data dal modello CAD 3D dell'oggetto preso in analisi, a destra la nuvola di punti acquisita tramite il visore, a questa segue una fase di clustering dei punti come descritto in precedenza;
- per entrambe le nuvole dei punti viene utilizzato l'algoritmo *keypoints* che permette il rilevamento dei punti chiave di queste, in generale i punti di interesse ottenuti tramite l'algoritmo saranno minori rispetto ai punti presenti nella nuvola; [11]
- in seguito, viene eseguito l'algoritmo *feature FPFH* (Fast Point Feature Histograms), che descrivono la geometria intorno ai punti chiave, generalizzando la curvatura media attorno al punto, utilizzando un istogramma multidimensionale (semplificato) di valori. [12]
- Tutti i dati ottenuti tramite l'algoritmo precedente vengono a loro volta estratte e abbinate al modello utilizzando il metodo iterativo RANSAC ("RANdom SAMple Consensus") che permette di filtrare i dati andando a scartare gli outlier. Ovvero quei dati che si discostano dal resto dei dati raccolti. [12]
- Una volta estratte le *Rigid Body Transformation*, quindi una volta ottenuta la matrice roto-traslatoria che riduce al minimo le distanze dei punti corrispondenti, si prosegue con una convalida grossolana, ovvero si allinea il CAD 3D con la

nuvola di punti utilizzando le coordinate appena estratte e si associa un punteggio per ognuno di essi. [12]

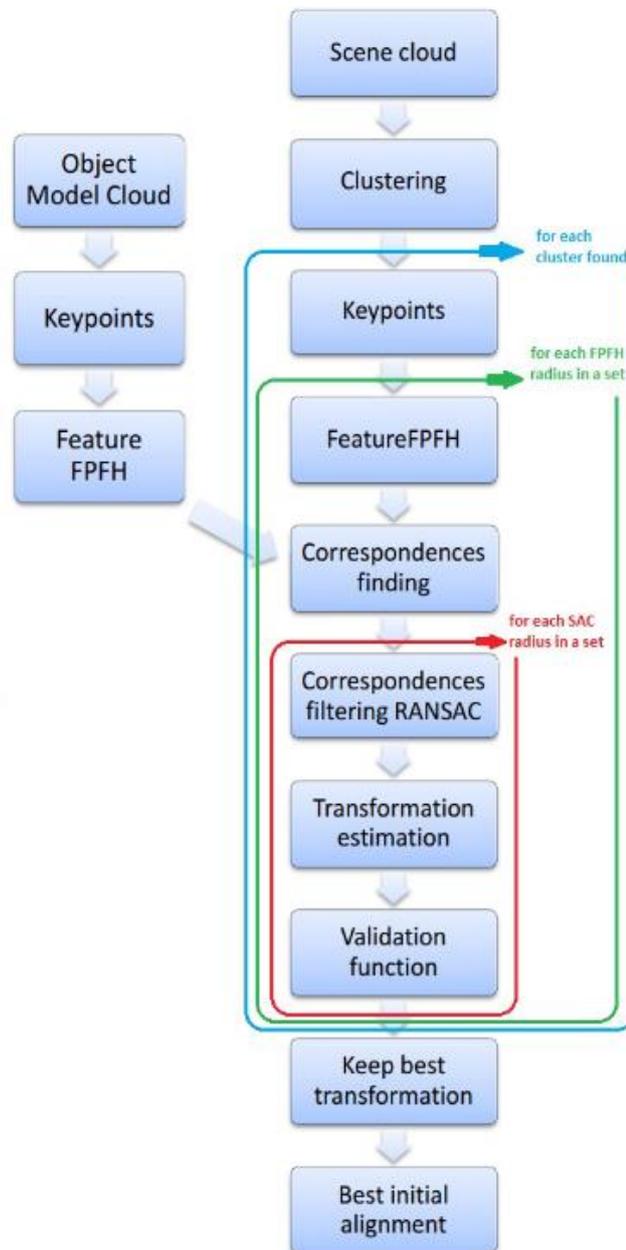


Figura 49 – Workflow

Per i migliori candidati viene eseguito l'algoritmo ICP ("Iterative Closest Point") che permette di ottenere delle coordinate più accurate, successivamente avviene un'ulteriore validazione di questi, quindi si ha il vero e proprio matching tra il CAD 3D e la nuvola di punti acquisita dallo scanner. Infine, si prosegue con la scelta del pezzo migliore da prendere.

Ovviamente, per la scelta del pezzo migliore è necessario indicare, lato software, quale siano i criteri da rispettare; di seguito vengono elencati quelli più utilizzati:

- Raggiungibilità dell'oggetto: si dà priorità all'oggetto più vicino al manipolare;
- Ottenere l'afferraggio dell'oggetto con una bassa probabilità di fallimento;
- Afferrare il pezzo che implica una bassa probabilità di collisione.

4.1.2 Caratteristiche dei Robot e descrizione manipolatore ABB IRB 6600

Le caratteristiche principali dei robot sono la possibilità di manipolare oggetti o utensili e la flessibilità. Le ragioni per la quale l'uso dei robot è sempre più usuale possono essere divise in:

- Ragioni sociologiche, che comprende a sua volta le seguenti ragioni:
 - mancanza di personale che accetta di dedicarsi ad attività puramente manuali e ripetitive o in ambienti pericolosi;
 - la tendenza ad un orario di lavoro che va riducendosi;
 - l'aumento progressivo della manodopera.
- Ragioni tecniche, il robot riesce ad eseguire un maggior numero di operazioni tecniche rispetto all'uomo, e lo fa anche con un costo inferiore.
- Ragioni economiche: con l'utilizzo dei robot si riescono a sfruttare al meglio gli impianti utilizzati, ottenendo così una resa economica elevata e riuscendo a coprire i costi degli impianti stessi. [13]

I movimenti eseguibili dal robot sono molto simili a quelli del braccio umano, infatti la denominazione dei vari elementi che lo costituiscono segue quella comunemente adottata nell'anatomia umana; di seguito viene riportata la nomenclatura del robot:

- Corpo, rappresenta la base strutturale principale;
- Spalla: rappresenta la prima articolazione;
- Braccio;
- Gomito;
- Polso;
- Mano;
- Dita, o gripper, che rappresentano l'organo di presa di tutta la struttura.

Nel caso del robot preso in considerazione non sono presenti le dita poiché si utilizza una mano magnetica. Ma prima di entrare nel dettaglio è necessario capire quali siano le caratteristiche tecniche di un robot, col fine di comprendere quale sia quello più adatto per una determinata applicazione; queste vengono elencate di seguito:

- Caratteristiche strutturali, ovvero la struttura con cui sono realizzati i robot industriale; le principali strutture sono: cilindrica, cartesiana, a portale (o Gantry), SCARA e antropomorfa.
- Gradi di libertà, ovvero il numero di movimenti di cui è dotato il robot, dunque, maggiore è il numero di gradi di libertà e maggiore è la flessibilità.
- Spazio di lavoro, si riferisce alla parte terminale del polso e non tiene conto di un eventuale dispositivo di presa. Questo dipende dalla struttura del robot, dalle sue dimensioni e dai limiti imposti ai movimenti delle coppie cinematiche.
- Capacità di carico, ovvero il massimo peso che il robot può manipolare nelle condizioni di maggiore estensione della struttura.
- Velocità di lavoro.
- Tipo di azionamento, i principali tipi di azionamento sono: oleodinamico, pneumatico ed elettrico.
- Ripetibilità di posizionamento, ovvero la capacità del robot di riposizionarsi su un punto programmato. [4]

Il manipolatore preso in analisi è un robot antropomorfo della ABB di classe IRB 6600, pesa 1780 kg (senza considerare la mano magnetica e i vari collegamenti alle varie utenze, come acqua e aria compressa, e all'unità di governo), ha una portata di 2,55 m con una capacità di movimentazione di 225 kg. Il nome antropomorfo deriva dal fatto che ricorda un braccio umano.

Questo tipo di manipolatore è di tipo seriale, cioè un sistema meccanico composto da un insieme di membri (link) connessi da accoppiamenti, rotoïdali o prismatici, a formare una catena cinematica aperta. Ogni accoppiamento è movimentato da un motore, quindi il tipo di azionamento è di tipo elettrico. Questo tipo di azionamento conferisce al robot antropomorfo:

- Precisione, ovvero una maggiore capacità di posizionare l'organo di presa in un determinato punto all'interno del volume di lavoro (vedi fig. 50);
- Ripetibilità;

- Semplicità di controllo;
- Semplicità di interfacciamento con l'unità di governo. [13]

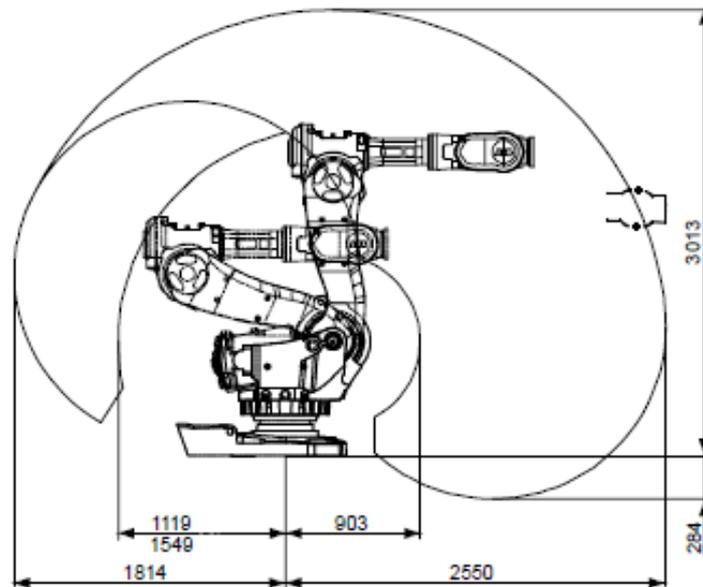


Figura 50 - Volume di lavoro

Di seguito viene mostrata una tabella riassuntiva con i valori di precisione e ripetibilità al carico massimo nominale, offset massimo e velocità pari a 1,6 m/s sul piano di prova ISO inclinato, 1m³ con tutti e sei gli assi in movimento:

Tabella 4 - Precisione e Ripetibilità

IRB 6600	225/2.55
Precisione della posizione, AP (mm)	0,12
Ripetibilità della posizione, RP (mm)	0,14
Precisione del percorso, AT (mm)	2,30
Ripetibilità del percorso, RT (mm)	0,56

Nella figura che segue vengono mostrati gli assi e gli elementi presenti sul manipolatore.

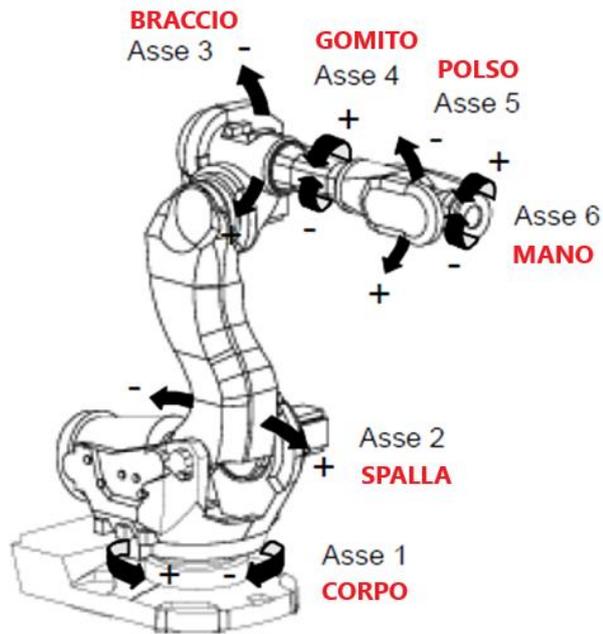


Figura 51 – ABB IRB 6600 a 6 assi

Dato che gli assi presenti sul manipolatore sono sei, di conseguenza, il numero dei gradi di libertà sarà il medesimo, in quanto ogni asse può eseguire un movimento.

La versione del robot utilizzato è di tipo H che è stato progettato per la movimentazione dei materiali. Di seguito viene mostrata la configurazione di quest'ultimo:

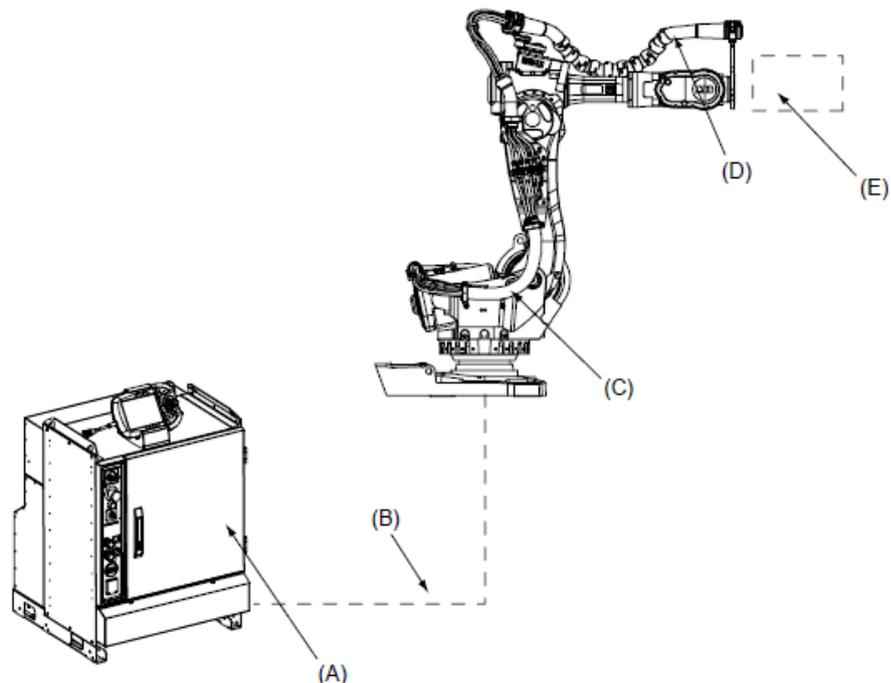


Figura 52 – Configurazione ABB IRB 6600 tipo H

La programmazione e il controllo dei movimenti del manipolatore sono controllate attraverso l'unità di governo, che in questo caso è rappresentato dall'armadio elettrico ed elettronico (fig. 53A), questo contiene le schede elettroniche di controllo e programmazione, le memorie, gli azionamenti e i quadri elettrici di potenza. All'unità di governo sono connessi le apparecchiature per la programmazione dei movimenti (quali tastiera, monitor), gli azionamenti, i trasduttori di posizione e i sensori.

Mentre, in figura 53 gli elementi B, C e D fanno parte del DressPack, nello specifico si ha il DressPack per pavimento (fig. 53B), che contiene i segnali utente, e il DressPack per braccio inferiore (fig. 53C) e per braccio superiore (fig. 53D), che contengono i fasci dei cavi di processo, inclusi i segnali, supporti di processo (acqua e aria compressa). Infine, nello spazio tratteggiato (fig. 53E) viene indicata la mano, che nel caso preso in analisi è una presa magnetica: per l'azionamento di quest'ultima è necessaria una forza pneumatica.

4.2 L'isola robotizzata

Di seguito viene riportata una vista 3D dell'isola robotizzata.

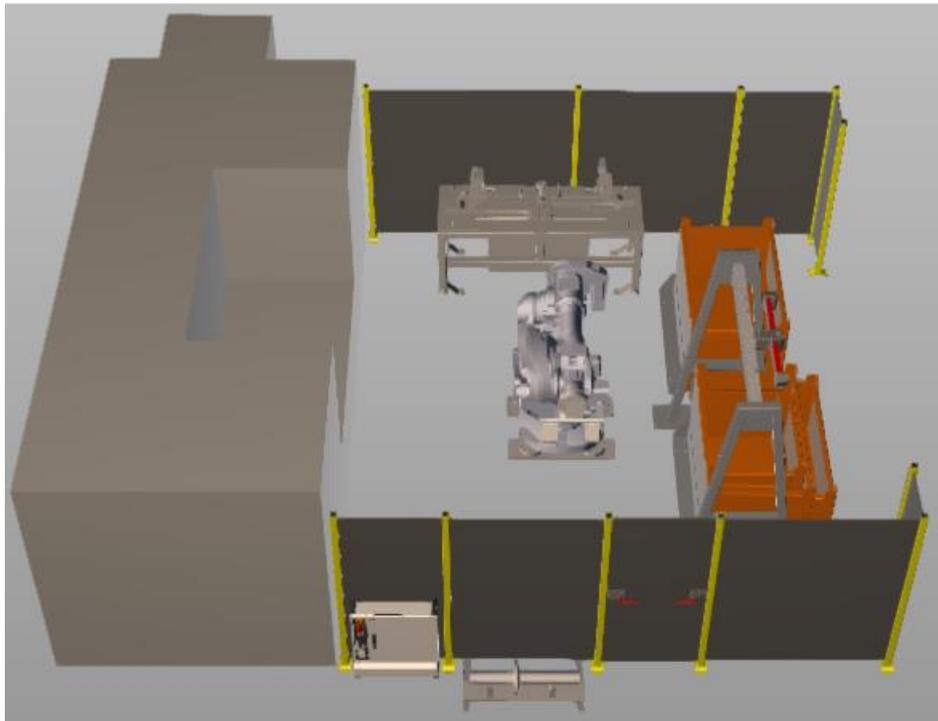


Figura 53 – Vista 3D

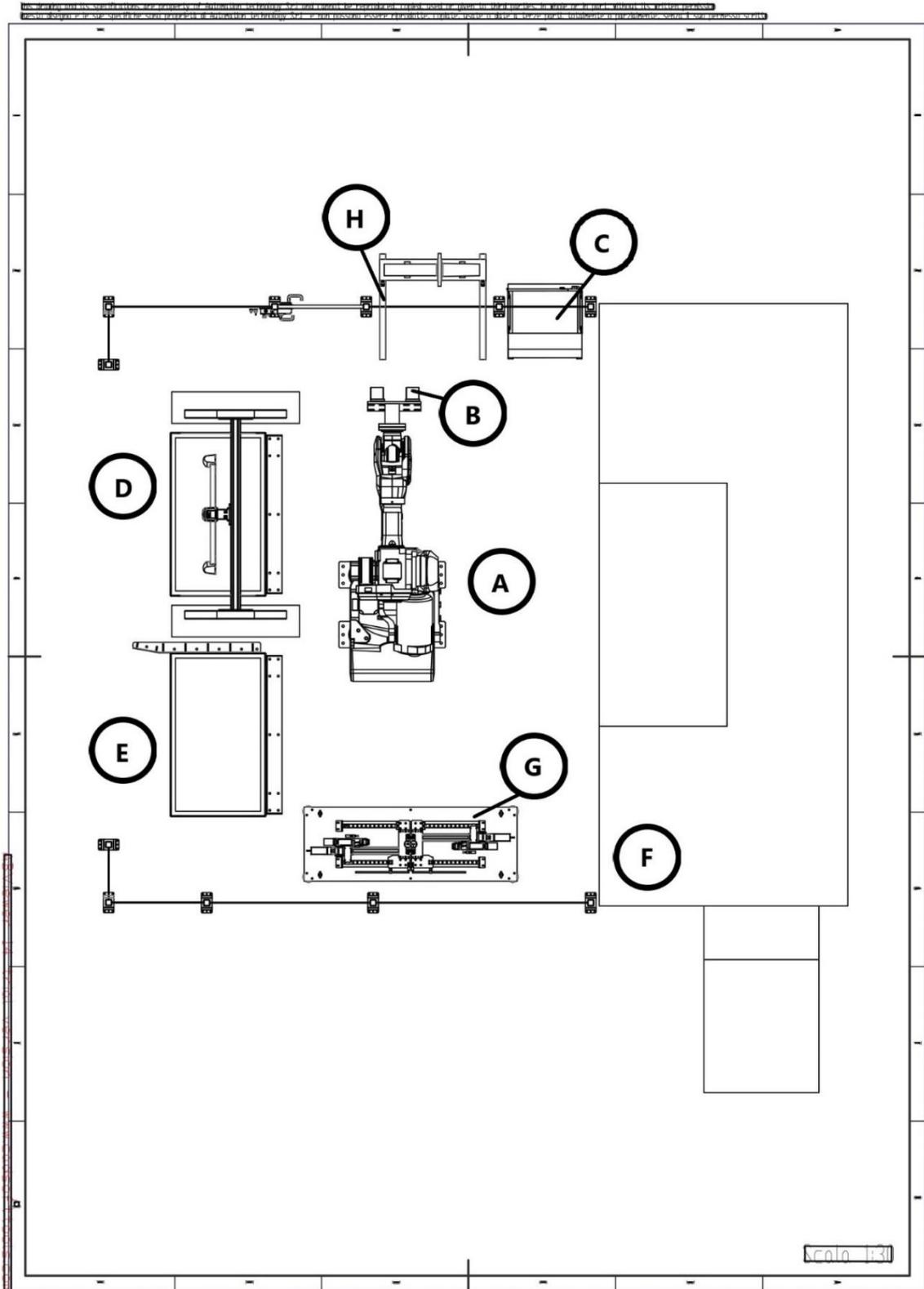


Figura 54 - Layout 2D

Facendo riferimento al layout in figura 54, l'isola robotizzata è così composta:

- A. Robot antropomorfo IRB 6600;
- B. Presa magnetica (fig. 55);

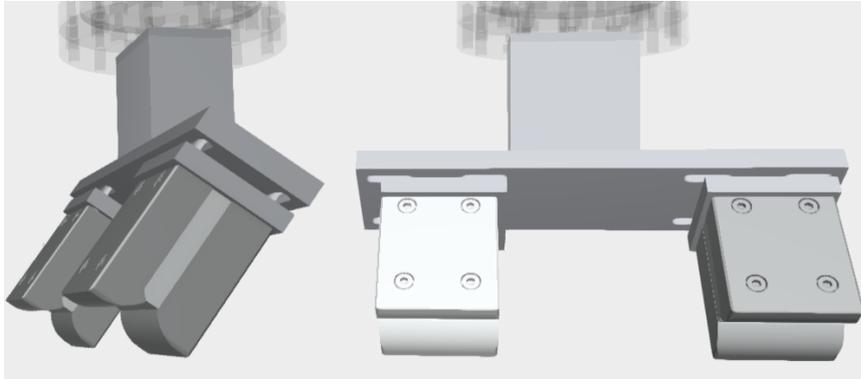


Figura 55 - Presa Magnetica

- C. Unità di governo ABB;
- D. Postazione per lo scanner dei pezzi (fig. 56), che è composto da un portale su cui vi è montato lo scanner e un contenitore dove vi sono collocati gli alberi da lavorare. Il contenitore è tenuto in battuta tramite una piastra in acciaio fissa che permette di mantenere il contenitore nel campo visivo della telecamera. In questo caso non è necessario che tutti i contenitori abbiano la stessa misura poiché tramite scanner si riescono a capire gli ingombri di questi.

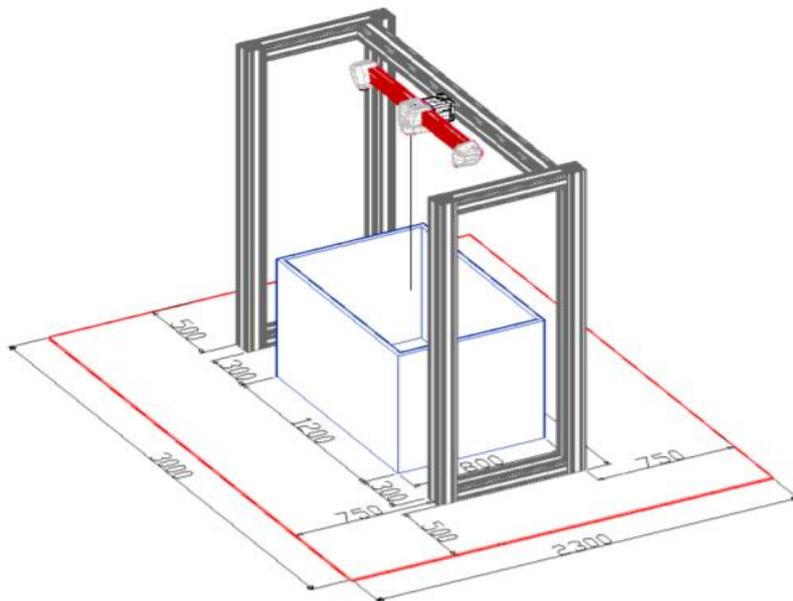


Figura 56 - Postazione per lo scanner dei pezzi

- E. Postazione con il contenitore dei prodotti lavorati: in questo caso il contenitore ha sempre le stesse dimensioni, in questo caso 1200 x 800, ed è tenuto in battuta tra due piastre. Queste ultime permettono di posizionare il contenitore sempre nella stessa posizione, questo è necessario poiché il robot durante la fase di posizionamento del pezzo lavorato nel contenitore non è dotato di alcun sensore video, quindi non sono ammessi errori di posizionamento, altrimenti si avrebbe la collisione del manipolatore;
- F. Centrintestatrice Comini MM-230;
- G. Macchina di misura automatica per controllo dimensionale (fig. 57);

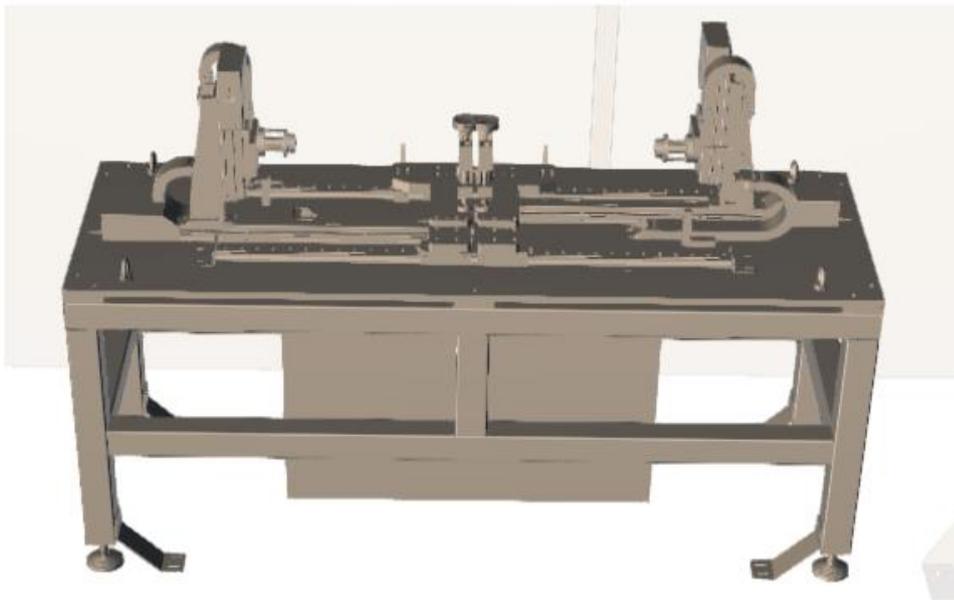


Figura 57- Macchina di misura automatica per controllo dimensionale

- H. Cassetto di estrazione o SPC, per il controllo di pezzi destinati al collaudo o pezzi difettosi.

Conclusa la parte descrittiva dell'isola robotizzata, si prosegue con la descrizione delle varie fasi eseguite all'interno e all'esterno di questa. Innanzitutto, il capo reparto esegue la preparazione della centrintestatrice e monta la presa magnetica che garantisce il corretto afferraggio dell'albero da lavorare; di seguito il responsabile di magazzino provvede a prelevare il contenitore con i pezzi grezzi dal magazzino e lo posiziona nella postazione dove avviene lo scanner, il tempo impiegato da quest'ultimo per effettuare una scansione completa del contenitore è di tre secondi.

Dopo aver individuato lato software il pezzo migliore da prendere e generato la traiettoria tramite software, la fase che segue è quella effettuata dal manipolatore ovvero l'afferraggio e il conseguente carico del pezzo sulla centrotestatrice dove verrà lavorato l'albero preso in analisi. Per tutte le informazioni sulla lavorazione di centrotestatatura si fa riferimento alla sezione 3.2 dove vengono riportati i tempi di lavorazione della centrotestatrice.

Una volta finita la lavorazione il robot afferra il pezzo e lo sposta sulla macchina per il controllo dimensionale: mentre viene effettuato il controllo dimensionale il robot si sposta verso il contenitore e provvede ad afferrare un nuovo pezzo e caricarlo sulla centrotestatrice. Una volta effettuato il controllo dimensionale e il pezzo risulta essere conforme, avviene l'ultima fase ovvero lo spostamento del pezzo nel contenitore dei pezzi lavorati; diversamente, se il pezzo lavorato fosse difettoso, il robot posizionerebbe il pezzo sul cassetto di estrazione in modo tale che un operatore possa effettuare i dovuti controlli. Le fasi appena descritte vengono ripetute fino ad esaurimento pezzi nel contenitore.

La centrotestatrice, la macchina di misura automatica, il robot e il visore sono tutti collegati all'unità di governo tramite rete Profinet. Questa rete di comunicazione basata su rete Ethernet, il collegamento tra i vari dispositivi avviene tramite interruttori, che rende l'installazione semplice ed economica. Nello specifico durante la fase di scanner, afferraggio del pezzo e fuoriuscita dal contenitore il robot è guidato dal software Smart Pick 3D Solid, come detto nella sezione 4.1.1, in modo da evitare collisioni tra il robot e il contenitore; mentre, per le altre fasi il robot fa riferimento al suo sistema operativo che controlla ogni suo movimento. Ovviamente è necessario che per le altre fasi il manipolatore riceva dei segnali dalle altre macchine:

- La centrotestatrice invia due segnali, il primo è quello di "porta aperta" e il secondo di "porta chiusa". questo comunica al robot quando può caricare o scaricare l'albero dalla centrotestatrice.
- La macchina di misura automatica invia tre segnali:
 - Segnale che indica che l'albero è stato posizionato bene tra le due prese della macchina di misure;
 - Segnale che indica che il controllo dimensionale è concluso;
 - Segnale di errore: il pezzo non è conforme

Tutte le altre traiettorie e posizioni sono implementate sul software del robot, poiché essendo le posizioni da raggiungere sempre le stesse non è necessario avere un controllo della traiettoria in quanto si è prestabilita prima una traiettoria che non implicasse collisioni con le altre macchine o oggetti presenti nell'isola.

Quando la macchina di misura invia il segnale di errore il robot procede a posizionare il pezzo nella stazione SPC. In questo processo, il particolare uscito dal processo automatico dovrà essere riposizionato secondo dei vincoli precisi in modo che il robot non possa sbagliare il punto di prelievo, così potrà depositarlo nei contenitori. Possibilmente la tendenza è di non avere mai il robot fermo ad aspettare il pezzo, quindi anche quando il robot deposita il pezzo nella stazione SPC va in caricamento di un grezzo pronto per il nuovo ciclo. Anche perché i tempi da parte dell'operatore non sono scanditi e precisi, ma anzi si presuppongono lunghi visto che si solleveranno i particolari con un paranco e una volta riposizionato, l'operatore avrà a disposizione una pulsantiera a bordo isola un tasto per la richiesta di "ripresa pezzo in SPC".

Inoltre, fuori dall'isola è presente un'HMI, ovvero un'interfaccia uomo-macchina, rappresentata da uno schermo che permette il che permette di controllare e automatizzare il robot presente nell'isola.

4.3 Risultati ottenuti

Il tempo ciclo, ovvero il tempo necessario all'impianto per l'esecuzione di un ciclo di lavorazione su un singolo prodotto, è un parametro fondamentale per la valutazione dell'efficienza dell'isola robotizzata e di conseguenza se l'investimento effettuato porta ad un incremento della produzione.

Per questo motivo si pone molta attenzione al tempo ciclo in ambito industriale, dove ridurre il tempo ciclo indica spesso la scelta di una soluzione piuttosto che un'altra. A tal proposito prima di procedere con il bin-picking, l'azienda aveva optato per un caricatore a portale adibito al carico/scarico della centrointestatrice, un trasporto di carico ed un tappeto di scarico: questa soluzione conferiva un miglioramento in termini di tempo ciclo però sarebbe stato necessario la supervisione di un operatore che avrebbe dovuto caricare o scaricare con una certa frequenza i pezzi dai tappeti di carico e scarico, quindi si è preferito effettuare un investimento che riuscisse ad automatizzare l'intera fase.

Data questa premessa, per ottenere un tempo ciclo ridotto è necessario che il robot non si fermi mai durante l'intero ciclo: questo si può ottenere mascherando il tempo di elaborazione degli algoritmi di identificazione del pezzo grezzo all'interno del contenitore, ovvero eseguendo l'elaborazione mentre il manipolatore antropomorfo è impegnato in altre lavorazioni. Inoltre, un ulteriore mascheramento del tempo viene effettuato durante la fase di lavorazione del pezzo, di conseguenza tutto quello che avviene parallelamente alla lavorazione di centointestatura non viene aggiunto al tempo ciclo. Di seguito vengono riportati i tempi impiegati dal robot durante le varie fasi:

Tabella 5 – Tempi Isola robotizzata

Operazione	Descrizione operazione	tempo [s]
A	Scansione pezzo	3
B	Matching e Ottenimento traiettoria	7
C	Carico pezzo nella centointestatrice	30
D	Lavorazione	226
E	Scarico pezzo e posizionamento su postazione per controllo dimensionale	20
F	Controllo dimensionale	30
G	Posizionamento del pezzo dalla postazione per il controllo dimensionale al contenitore dei prodotti finiti	20

Nella tabella soprariportata vengono indicati anche i tempi delle fasi che poi vengono mascherati durante la lavorazione o durante le altre operazioni eseguite dal robot.

Per capire meglio i tempi che vengono mascherati e quale sia l'effettiva durata del tempo ciclo si fa riferimento alla figura che segue.

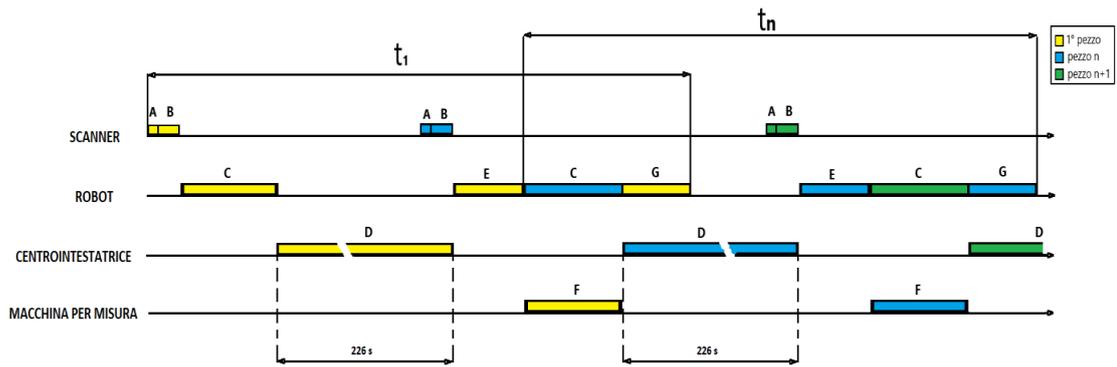


Figura 58 - Tempi ciclo

Come si evince dalla figura soprariportata, vengono riportati due tempi ciclo: il primo si riferisce al tempo ciclo del primo pezzo da lavorare e il secondo si riferisce al tempo ciclo di un qualsiasi pezzo.

- Il ciclo riferito al primo pezzo da lavorare ha una durata di 336 secondi, ovvero 5 minuti e 36 secondi, dove il tempo di fermo, inteso come tempo in cui la macchina non lavora il primo pezzo, è di 110 secondi.
- Il secondo ciclo, ovvero quello riferito ad un qualsiasi pezzo da lavorare escluso il primo, ha una durata di 326 secondi, ovvero 5 minuti e 26 secondi, dove il tempo di fermo, inteso come tempo in cui la macchina non lavora il pezzo n-esimo, è di 100 secondi.

Dato che per ogni contenitore si hanno solitamente quindici pezzi grezzi, il primo ciclo andrà ad incidere sul restante ciclo del 6,67%; quindi preso un campione di quindici pezzi, di cui uno impiega 10 secondi in più rispetto agli altri pezzi, il tempo ciclo medio per ogni contenitore è di 326,67 secondi; per eccesso si considera il tempo ciclo medio pari a 327 secondi.

Un'osservazione importante da fare è che lato software il tempo di fermo sarà sottostimato poiché questo, sulla centroidestatrice, viene considerato come il tempo che intercorre tra un'apertura e una chiusura del portellone. Quindi facendo nuovamente riferimento alla figura 58, il tempo di fermo è di 50 secondi, ovvero meno della metà in relazione al primo ciclo e la metà in relazione ai cicli successivi.

4.4 Confronto

Ricavati, tramite simulazione dell'isola robotizzata, i nuovi tempi ciclo è necessario effettuare un confronto con i tempi ciclo della sezione 3.2, dove gli spostamenti degli alberi e i controlli dimensionali sono eseguiti da un operatore. Di seguito viene riportata una tabella dove vengono

Tabella 6 – Confronto dei tempi ciclo

	Lavorazione con operatore	Isola Robotizzata
Tempo Ciclo [hh:mm:ss]	00:07:33	00:05:27
Tempo Macchina [hh:mm:ss]	00:03:46	0:03:46
Tempo Fermo [hh:mm:ss]	00:03:47	00:01:41
% Fermi	48,04%	30,89%
Produzione oraria	7,96	11,04

Come detto in precedenza, il tempo macchina non subisce alcun cambiamento poiché la lavorazione necessita quella durata per essere effettuata in modo da ottenere il pezzo quanto più conforme ai controlli dimensionali; invece, come si desume dalla tabella 6 si ha una diminuzione del tempo ciclo: passando da 7 minuti e 33 secondi a 5 minuti e 27 secondi, ovvero una diminuzione del 27,81% del tempo ciclo.

Per apprezzare maggiormente l'intervento dell'automazione si fa riferimento al tempo di fermo, che era la parte critica durante l'operazione di centointestatura: si passa da 227 secondi a 101 secondi di fermo macchina, ovvero una diminuzione del 55,5%.

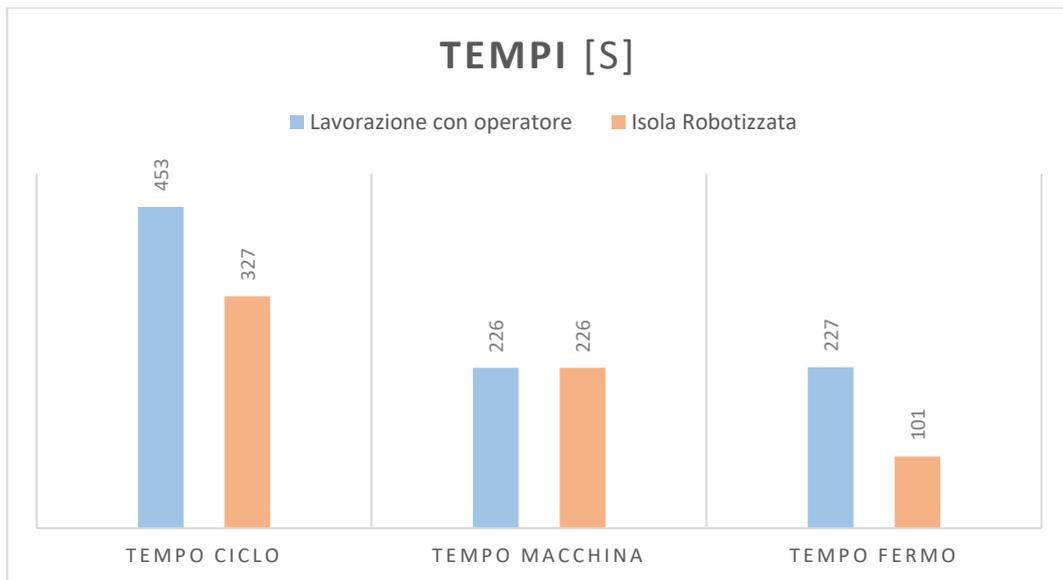


Figura 59 - Confronto tempi

Un ottimo risultato ottenuto è stato l'aumento della produzione oraria: passando da 7,96 pezzi per ora a 11,04, ovvero un aumento del 38,7% della produzione.

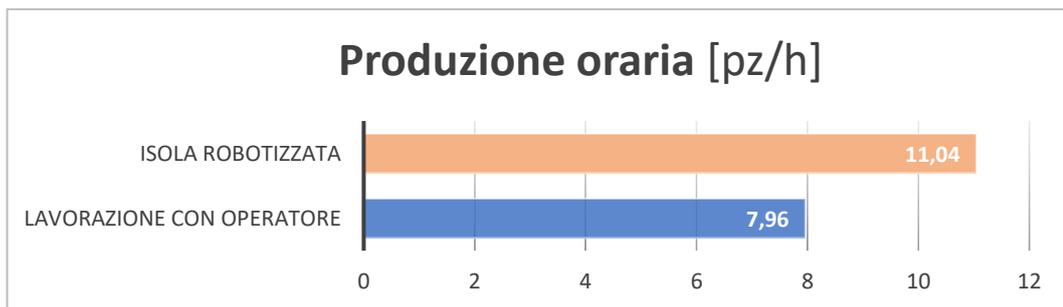


Figura 60 - Confronto Produzione oraria

Oltre ai benefici da un punto di vista della produzione si sono ottenuti dei miglioramenti in termini di sicurezza, a tal proposito con l'ausilio del manipolatore antropomorfo gli incidenti durante l'operazione di centrintestatura saranno nulli, poiché nell'isola robotizzata in funzione non è permesso l'ingresso di qualsiasi operatore.

In ogni caso l'unico ingresso dell'isola è limitato attraverso una porta di accesso, che in automatico blocca la produzione in caso di apertura, potendo, quindi, essere considerata un sistema di sicurezza passivo.

5 CONCLUSIONI

Lo studio compiuto è stato il frutto della volontà dell'azienda O.L.V. Officina Meccanica s.r.l. di comprendere a fondo quale fosse la fase con le criticità maggiori, analizzandone i tempi ciclo, dando maggiore rilievo ai tempi di fermo. Dalle analisi effettuate è emerso che la fase di centrintestatura è quella con le maggiori criticità, ovvero con tempi di fermo molto elevati rispetto ai fermi macchina delle altre fasi. Inoltre, si è posta maggiore importanza sugli articoli più pesanti, in modo da analizzarne anche le criticità da un punto di vista della movimentazione di questi, nello specifico si è analizzato l'albero flangiato per la Metalcastello 301-5693.

Individuate le criticità e i tempi ciclo dell'articolo suddetto, si è proceduto all'individuazione della tecnologia più adatta per ovviare alle criticità presenti in centrintestatura e, dopo aver consultato diverse proposte da aziende differenti, si è scelto di robotizzare la centrintestatrice e in particolare di utilizzare il sistema di bin-picking, un visore 3D, la cui peculiarità è quella di individuare il pezzo grezzo più comodo e vicino da prendere dalla cassa-pallet, dove vi sono disposti in modo disordinato i grezzi da lavorare. Il visore è formato da una telecamera centrale, che esegue l'acquisizione di un'immagine 2D, e due laser, che, tramite i fasci proiettati sul pezzo inquadrato dalla telecamera, associano ad ogni pixel dell'immagine un valore che ne indica la profondità.

Per tale sistema è stato necessario raccogliere i file CAD dei grezzi, poiché lato software deve essere presente il disegno 3D del pezzo in modo da eseguire, dopo la fase di scansione, il matching tra il disegno 3D e l'acquisizione fatta dallo scanner.

Una volta individuato il sistema migliore, si è proceduto con la progettazione del layout in modo tale da ottimizzare gli spazi all'interno dello stabilimento.

Ottenuto il layout si è proseguito con l'ottenimento dei nuovi tempi ciclo, da cui è emerso un miglioramento: nello specifico si è ottenuto una diminuzione dei tempi di fermo del 55,5% e un aumento della produzione del 38,7%. Inoltre, trattandosi di un'isola robotizzata e non essendo permesso l'ingresso del personale durante la lavorazione, si sono ridotte a zero le possibilità di avere incidenti durante l'operazione di centrintestatura.

Infine, i risultati ottenuti hanno permesso all'azienda di effettuare un investimento in automazione che permetterà un aumento significativo della produzione; infatti, è nelle intenzioni dell'azienda, visti i miglioramenti previsti, di installare in azienda una seconda isola robotizzata per la centrintestatura.

BIBLIOGRAFIA

- [1] «<http://www.olvsrl.com/>,» [Online].
- [2] <https://www.imsaitaly.com/it/articoli/la-foratura-profonda>. [Online].
- [3] <https://www.ivaxia.com/serie-mm/>. [Online].
- [4] F. G. M.Santochi, «Tecnologia Meccanica e studi di fabbricazione, 2nd ed., vol. 1, no. 1. 2000.».
- [5] https://it.wikipedia.org/wiki/Truschino_graduato. [Online].
- [6] <https://it.wikipedia.org/wiki/Calibro>. [Online].
- [7] F. C. V. VIKTOROV, AUTOMAZIONE DEI SISTEMI MECCANICI, Torino: C.L.U.T., 2012.
- [8] S. Stefano, *Robot bin picking: 3D pose retrieval based on Point Cloud Library*.
- [9] S. Tonello, *Bin-picking Robot: algoritmi di visione e framework software*, 2010.
- [10] «<https://it.wikipedia.org/wiki/Clustering>,» [Online].
- [11] «<https://pointclouds.org/>,» [Online].
- [12] A. Pretto, *Increasing flexibility with vision-guided robotics*, Padova.
- [13] I. Luca, *I Robot industriali - slides del corso di studi di Sistemi integrati di produzione presso il Politecnico di Torino*, 2019.
- [14] «<https://steelforge.com/aisi-4120/>,» [Online].

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Layout azienda	3
Figura 2 - Dashboard OverOne.....	6
Figura 3- sezione "Produzione" su OverOne	7
Figura 4 - sezione "Monitoraggio" su OverOne	8
Figura 5 - sezione "Videowall" su OverOne.....	9
Figura 6 - sezione "Ordini" su OverOne.....	9
Figura 7 - sezione "Analisi Tempi" su OverOne	11
Figura 8 – sezione "Tempi" in Analisi Tempi.....	12
Figura 9 - sezione "Totali" in Analisi Tempi.....	13
Figura 10 - Schermata principale Workplan.....	16
Figura 11 - sezioni "Articoli" su Workplan	18
Figura 12- informazioni generali articolo su Workplan	19
Figura 13 - sezione "Generali" su Articoli.....	20
Figura 14 - sezione "Dettagliati" su Articoli.....	20
Figura 15 - Ripartizione tecnica.....	21
Figura 16 - Nomenclature lavorazioni	21
Figura 17 - Sezione "Commessa" su Workplan.....	23
Figura 18 - Analisi dei tempi nella sezione "Ordini" su OverOne	26
Figura 19 - Albero 301-5963-05	27
Figura 20 - disegno 3D del pezzo grezzo	27
Figura 21 - Disegno 2D quotato del pezzo grezzo.....	28
Figura 22 - Pallinato fase di tornitura	30
Figura 23- Pallinato fase di foratura	30
Figura 24 - Benestare	31
Figura 25 - cassoni con pezzi grezzi	32
Figura 26 - Cartellino.....	32
Figura 27 - Centrintestatura	33
Figura 28 - Foratura tramite punta cannone.....	34
Figura 29 - Tornitura.....	34
Figura 30 - Foratura radiale	35
Figura 31 - Marcatura	36
Figura 32 - Dettagli Imballaggio	36
Figura 33 - Sollevatore pneumatico Dalmec e presa con magnete permanente	38
Figura 34 - Centrintestatrice Comini MM 230 e particolare doppio mandrino [3]	38
Figura 35 - Fase di carico dell'albero	39
Figura 36 - Fresa cilindrico-frontale [4]	40

Figura 37 – Modalità di lavoro (sinistra) e generazione della superficie lavorata (destra) [4].....	40
Figura 38 - Sistema di bloccaggio [4].....	41
Figura 39 - Scheda di autocontrollo.....	46
Figura 40 - Cono comparatore	47
Figura 41 - Base + Comparatore.....	47
Figura 42- Truschino graduato	48
Figura 43 - Tampone passa/non passa	49
Figura 44- Calibro.....	49
Figura 45 - EyeT+Pick.....	54
Figura 46 - Motor Pack.....	55
Figura 47 – Calcolo della profondità	56
Figura 48 – Nuvola di punti.....	57
Figura 49 – Workflow.....	59
Figura 50 - Volume di lavoro	62
Figura 51 – ABB IRB 6600 a 6 assi	63
Figura 52 – Configurazione ABB IRB 6600 tipo H	63
Figura 53 – Vista 3D.....	64
Figura 54 - Layout 2D	65
Figura 55 - Presa Magnetica	66
Figura 56 - Postazione per lo scanner dei pezzi.....	66
Figura 57- Macchina di misura automatica per controllo dimensionale	67
Figura 58 - Tempi ciclo	71
Figura 59 - Confronto tempi	73
Figura 60 - Confronto Produzione oraria.....	73

INDICE TABELLE

TABELLA 1- ELENCO MACCHINE OPERATRICI	4
TABELLA 2 - TEMPI CICLO	37
TABELLA 3 - DATI TECNICI EYET+ LT20	54
TABELLA 4 - PRECISIONE E RIPETIBILITÀ.....	62
TABELLA 5 – TEMPI ISOLA ROBOTIZZATA	70
TABELLA 6 – CONFRONTO DEI TEMPI CICLO	72

RINGRAZIAMENTI

Un ringraziamento va al Professore Maurizio Schenone e al Professore Dario Antonelli che i quali sono stati disponibili durante lo svolgimento della tesi, considerata soprattutto la situazione emergenziale. In secondo luogo, ci tengo particolarmente a ringraziare Federico Valle che mi ha fornito la possibilità di apprendere molto durante il percorso svolto in O.L.V. Officina Meccanica che ritengo sia stata un'opportunità di crescita molto importante per il mio futuro.

Volevo soprattutto ringraziare la mia famiglia che mi ha sempre sostenuto, supportato e dato le basi per crescere, e gli amici che hanno reso più piacevole e meno gravoso il percorso di questi anni.