



**Politecnico
di Torino**

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Tesi di Laurea Magistrale

**Progettazione tecnica e Valutazione economica
di soluzioni robotiche per l'Automazione
dello Stampaggio in ALESSI S.p.A.**

ALESSI

Relatore

Prof. Schenone Maurizio

Candidato

Arnosio Emanuele

Anno accademico 2025 / 2026

*A quella parte di me che pensava non ce l'avrei fatta,
agli sforzi, alla pazienza, alla paura e alla consapevolezza.
Dedicato a me, per questo traguardo conquistato con le mie forze.*

Sommario

Introduzione.....	5
1 Fondamenti Tecnici ed Economici per l'Automazione dello Stampaggio	6
1.1 Tecnologia dei Materiali	6
1.2 Tecnologia dei Processi.....	6
1.3 Organizzazione Industriale	7
1.4 Robotica	11
1.5 Normative in materia di Sicurezza	13
1.6 Ingegneria Economica	13
2 Il Sistema Produttivo di ALESSI S.p.A.	16
2.1 Stato Attuale dell'Azienda	16
2.2 Lo Sviluppo di un Nuovo Prodotto.....	18
2.2.1 <i>Dal Designer alla Produzione</i>	18
2.2.2 <i>Il Magazzino Materie Prime e Taglio Profili</i>	19
2.2.3 <i>Il Reparto Stampaggio</i>	21
2.2.4 <i>Il Magazzino Prodotto Finito e la Ricevitoria</i>	24
2.2.5 <i>Il Reparto Assemblaggio e Confezionatura</i>	25
2.2.6 <i>I Reparti Lucidatura, Manutenzione e Servizio Clienti</i>	27
2.2.7 <i>Le Lavorazioni Esterne</i>	28
2.3 Analisi del Plant e dei Processi Produttivi	28
2.3.1 <i>Analisi del Plant Layout</i>	28
2.3.2 <i>Diagramma di Flusso dei Cicli Produttivi</i>	30
2.4 Limiti e Opportunità di Automazione	33
3 Valutazione di Diverse Opportunità di Automazione	34
3.1 Studio dei Cicli di Produzione dei Prodotti Best Seller	34
3.2 Le Soluzioni Progettuali Proposte	36
3.2.1 <i>Linea Robotizzata per Stampaggio Imbutiti in Acciaio Inox</i>	37
3.2.2 <i>Concept di Linee di Stampaggio Flessibili</i>	39
3.2.3 <i>Analisi Critica delle soluzioni proposte</i>	40
3.2.4 <i>Proposte di Scenari Alternativi</i>	42
4 Analisi di Fattibilità Economica per l'impianto di "SHS Automation & Robotics"	43
4.1 Prima Filtrazione dei Dati e Metodologia di Analisi.....	43
4.2 Tempi di Attrezzaggio	44
4.3 Affinamento dell'Analisi.....	44
4.4 Calcolo del Risparmio Economico	45
4.4.1 <i>Valutazione Preliminare di Configurazione a 4 Presse</i>	45
4.4.2 <i>Valutazione Alternativa di Configurazione a 3 Presse</i>	47
4.4.3 <i>Recupero delle Ore Inefficienti nella Configurazione a 4 Presse</i>	48
4.5 Considerazioni.....	50

5 Progetto Evoluzione Fabbrica	51
5.1 Stato Attuale dei Centri di Lavoro	51
5.2 "Fase 1"	54
5.2.1 Razionalizzazione del parco macchine	54
5.2.2 Sviluppo Concettuale di una Linea Automatica	55
5.2.3 Risultato "Fase 1"	61
5.3 "Fase 2"	62
5.3.1 Sviluppo Concettuale di una Cella Automatica	62
5.3.2 Risultato "Fase 2"	72
6 Conclusioni	74
Bibliografia	76
Sitografia.....	78
Ringraziamenti.....	79

Introduzione

Il presente progetto di tesi si inserisce nel contesto di ammodernamento dei processi produttivi di **ALESSI S.p. A.**, storica realtà italiana e leader internazionale nel settore del design di articoli per la casa attraverso la lavorazione a freddo dell'acciaio inox.

L'azienda ha avviato un piano strategico di rinnovamento tecnologico focalizzato in particolare sul reparto **Stampaggio**, nodo cruciale della catena del valore. Attualmente, lavorazioni chiave quali imbutitura, saldatura, tranciatura e piegatura sono caratterizzate da un'alta presenza di manodopera che, pur garantendo la necessaria flessibilità, rappresenta un fattore limitante in termini di produttività e incide significativamente sui tempi di attraversamento (*lead time*). In questo contesto, l'azienda intende valutare soluzioni di automazione che permettano di **ottimizzare i costi di produzione in Italia**, preservando la qualità dei prodotti, il marchio *Made in Italy* e la tradizionalità dell'azienda.

Il lavoro di tesi identifica, analizza e propone soluzioni di automazione volte a incrementare l'efficienza produttiva. La ricerca adotta un approccio misto, che combina l'analisi tecnologica a quella economica.

Fase 1 – Raccolta Dati:

Studio sul campo del sistema produttivo e logistico dell'azienda attraverso interviste al personale, con l'obiettivo di identificare problematiche operative e margini di crescita.

Fase 2 – Ricerca di Mercato:

Analisi comparativa delle proposte tecniche ed economiche fornite dai partner tecnologici, volta a valutare l'adattabilità dei sistemi robotici al contesto produttivo esistente.

Fase 3 - Sviluppo del modello di analisi:

Creazione di un modello per il confronto delle diverse soluzioni, basato su criteri tecnici (flessibilità, affidabilità) e finanziari (CAPEX, ROI, costo del personale).

Fase 4 - Elaborazione della proposta:

Definizione di un piano di ammodernamento progressivo e progettazione tecnica di impianti automatici in linea con gli obiettivi strategici dell'azienda.

L'elaborato fornisce un contributo concreto ad ALESSI, offrendo un **piano d'azione dettagliato** per la transizione verso un modello produttivo più efficiente. I risultati includono la fotografia dello stato attuale dei processi, la valutazione oggettiva di due diverse opzioni di automazione e la definizione di una strategia di investimento sostenibile, capace di ridurre il *lead time* lavorando in parallelo al flusso produttivo attuale.

1 Fondamenti Tecnici ed Economici per l'Automazione dello Stampaggio

1.1 Tecnologia dei Materiali

Gli acciai sono classificati in base al tenore di carbonio e alla presenza di elementi di lega.

Gli acciai a basso tenore di carbonio ($C < 0.2\%$) sono duttili, facilmente saldabili e deformabili a freddo. Una particolare classe di questi è rappresentata dagli **acciai da imbutitura** (*Deep Drawing Quality*), caratterizzati da un elevato *esponente di incrudimento* e *rapporto di anisotropia* che massimizzano la deformazione nel piano preservando lo spessore. Durante il loro processo produttivo, in seguito a laminazione a freddo e ricottura, subiscono una passata finale di **skinpass**: questa operazione deforma il materiale per prevenire la formazione in opera delle *bande di Lüders*, un difetto estetico dovuto alla disomogeneità della deformazione, ritenuto inaccettabile sui prodotti finiti.

L'aggiunta di Cromo e Nichel in lega aumenta la duttilità a freddo e garantisce la resistenza alla corrosione tramite *passivazione*. Questi **acciai** sono detti **inossidabili** e ne sono esempi l'*AISI 304* (X5CrNi18-10) e *AISI 316* (X5CrNiMo17-12-2).

Complementari ai materiali del prodotto sono gli **acciai per utensili** (es. X155CrVMo12-1). A differenza dei primi, questi presentano un alto tenore di carbonio ($C > 0.7\%$) ed elementi di lega che, tramite trattamenti termici di **Tempra** e *rinvenimento*, permettono di ottenere l'elevata durezza necessaria per resistere alle elevate sollecitazioni meccaniche e all'usura.

1.2 Tecnologia dei Processi

I processi di stampaggio possono essere di **Imbutitura** o di **Tranciatura**.

L'**Imbutitura** è un processo di deformazione plastica a freddo che trasforma un disco piano di lamiera in un corpo cavo di una geometria specifica, stirandolo tra **punzone** e **matrice** per mezzo di un'elevata pressione di carico. La fattibilità tecnica è governata dai rapporti tra il diametro iniziale e finale della lavorazione, che determinano il numero di passaggi necessari per raggiungere la profondità desiderata senza fratture. Elemento cardine del processo è il **Premilamiera**, il quale esercita una forza controllata sul perimetro del disco per tenerlo in posizione pur consentendone lo scorrimento controllato, prevenendo la formazione di grinze grazie alla presenza di oli lubrificanti. Le presse utilizzate sono di due tipi:

- **Idrauliche**: permettono la regolazione della pressione nominale, applicata attraverso un cilindro idraulico, affinché la lavorazione possa avvenire in modo graduale e controllato;
- **Meccaniche**: dette **Bilancieri**, impartiscono il carico in modo impulsivo attraverso un meccanismo a vite azionato da un volano in rotazione.

La **Tranciatura** è un processo di taglio meccanico indotto dalla deformazione causata dalla precisa tolleranza tra punzone e matrice. Grazie ad esso si possono ottenere prodotti forati con geometrie complesse e altamente accurate. Tale operazione viene eseguita su presse meccaniche, il cui sistema operativo si basa sull'accoppiamento tra un albero a gomito rotante e una biella alla quale è collegato il gruppo porta punzoni. Tramite un albero filettato che permette di registrare con precisione l'altezza di penetrazione nella matrice è possibile controllare la qualità del bordo tagliato. In questo processo, il taglio non avviene per effetto di un'inclinazione del punzone; la condizione ottimale, infatti, si ottiene quando le superfici del grezzo e dei punzoni sono parallele.

Successivamente alla prima formatura, i semilavorati subiscono operazioni di imbutitura successiva (o *canottatura*) in cui l'uso del premilamiera non è previsto poiché l'azione è finalizzata al solo allungamento del corpo cavo. Il materiale di scarto viene rimosso tramite operazioni di **Rifilatura** per permettere l'inserimento negli stampi successivi senza danneggiarli. L'operazione di **Sbavatura** elimina gli spigoli vivi, punti di concentrazione degli sforzi che potrebbero innescare fratture.

Ogni operazione di un **Ciclo di lavorazione** si articola in diversi momenti che insieme costituiscono il **Tempo di lavoro standard**: l'attrezzaggio (*setup*), il carico, lo scarico, la lavorazione e il trasporto verso la postazione successiva. Il solo **Tempo di lavorazione** a sua volta è composto tra tre movimenti: l'approccio (o **Extracorsa**) in cui l'utensile si avvicina al pezzo, la lavorazione vera e propria e il rientro per permettere l'estrazione dell'utensile. L'ottimizzazione di questi tempi (per esempio attraverso la *SMED analysis*) è un obiettivo chiave della *Lean Manufacturing*, filosofia che mira a massimizzare la produttività delle macchine utensili.

Dopo la formatura del componente, esso può subire **trattamenti di finitura superficiale**, determinanti per il valore estetico del prodotto finale. La **Lucidatura** (meccanica o elettrolitica) conferisce all'acciaio brillantezza, mentre attraverso il **PVD** (*Physical Vapor Deposition*) è possibile ottenere varianti cromatiche (oro, rame, nero) e aumentare la durezza superficiale e la resistenza ai graffi.

1.3 Organizzazione Industriale

Lo strumento cardine per definire il layout di reparto che meglio si adatta alla propria produzione è il **Diagramma P-Q** (Figura 1.1), che mette in relazione la varietà dei prodotti (*Product*), in ordine decrescente di quantità, con i volumi richiesti (*Quantity*). L'analisi di questa curva permette di identificare quattro zone:

- I. **Layout per Prodotto** (o in Linea): Dedicato a produzioni ad alto volume e bassa varietà, le postazioni di lavoro sono disposte in sequenza secondo il ciclo di lavoro;
- II. **Layout per Processo** (o per Reparti): Le macchine sono raggruppate per funzione. È la scelta tipica per produzioni a lotti con alta varietà e bassi volumi;

- III. **Layout per Isole:** Sistema ibrido dove macchine diverse sono raggruppate in celle (*FMS - Flexible Manufacturing Systems*) per lavorare famiglie di articoli simili (*Group Technology*), garantendo flessibilità e produttività;
- IV. **Layout a Punto Fisso:** Tipico della produzione artigianale o dei grandi manufatti quali aeromobili e imbarcazioni, il prodotto rimane statico e le risorse necessarie confluiscono attorno ad esso.

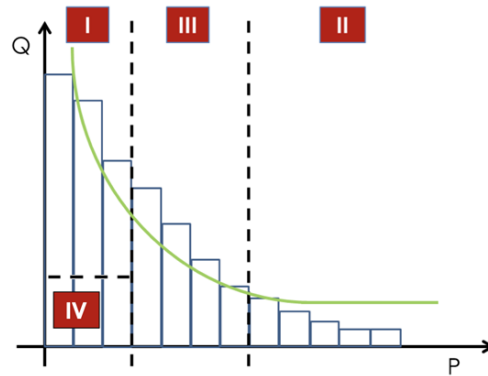


Figura 1.1 – Esempio generico di curva P-Q

Lo studio della disposizione reciproca degli impianti coinvolti in un layout per processo viene condotto attraverso metodi matematici volti a minimizzare il costo (c_{ij}) dei trasporti interni, pesato sul numero di **Unità di Carico** (udc_{ij}) in movimento tra due postazioni i e j distanti (d_{ij}):

$$C_{tot} = \sum_i \sum_j udc_{ij} \cdot c_{ij} \cdot d_{ij} \quad (1.1)$$

Il **Metodo delle Intensità di Traffico** analizza il numero di unità di carico in movimento tra tutte le postazioni al fine di avvicinare quelle maggiormente interconnesse o aventi flussi logistici maggiori.

Per prima cosa si produce la *Carta Multiprodotto* (Figura 1.2), in cui si riportano le sequenze di lavorazione dei vari semilavorati e la relativa quantità da spostare per esempio annualmente.

Si costruisce poi una seconda tabella a doppia entrata (Figura 1.3) riportando verticalmente e orizzontalmente in ordine inverso le postazioni. Nelle rispettive caselle di intersezione si riporta il totale di spostamenti effettuato tra di esse per la produzione di tutti i semilavorati; sulla diagonale si scrive invece la somma di riga e colonna, la quale indica il numero di volte in cui un centro di lavoro è interessato da uno spostamento.

MACCHINE	PRODOTTI					
	A	B	C	D	E	F
1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2
3		3	3	3	3	
4	4					4
5	5			5	5	5
6		6	6	6	6	
7	7	7		7	7	
8	8	8	8			
9		9	9	9		
10	10	10	10	10	10	10
Produzione annuale	2.000	1.000	1.000	5.000	10.000	20.000
Produzione per udc	200	50	10	100	200	100
udc annuali	10	20	100	50	50	200

Figura 1.2 – Esempio di Carta Multiprodotto

	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
1									430	430
2							210	220	860	
3			100	50	70			440		
4						210	420			
5	200			110	100	620				
6	50	100	100	20	440					
7		50	30	260						
8	10	20	260							
9	170	340								
10	430									

Figura 1.3 – Collegamenti fra le macchine

Si perviene quindi alla disposizione teorica dei centri di lavoro, posizionando vicini quelli che presentano più connessioni con gli altri (Figura 1.4). Tenendo conto degli ingombri in pianta delle postazioni, dopo aver considerato più disposizioni alternative (Figura 1.5) si giunge alla disposizione finale del layout ottimizzato (Figura 1.6).

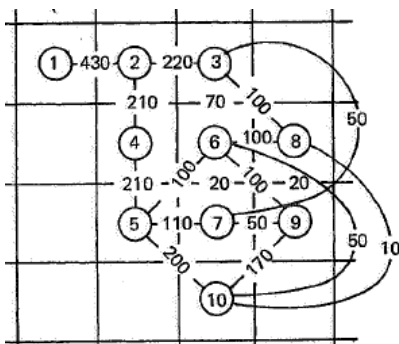


Figura 1.4 – Disposizione teorica dei centri di lavoro

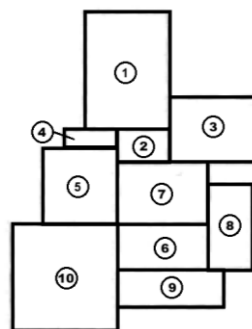


Figura 1.5 – Schema a blocchi teorico

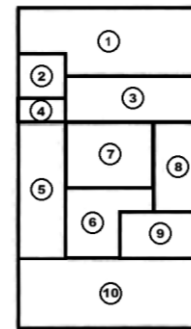


Figura 1.6 – Schema a blocchi, in pianta rettangolare

Il **Metodo dei Momenti** permette di identificare un ordine ottimale per il posizionamento in sequenza delle postazioni, basandosi sulla posizione media riscontrata nelle sequenze produttive.

Si produce dapprima un prospetto in cui si riportano i cicli di lavoro dei particolari in esame, incolonnandoli per posizione occupata da ogni operazione all'interno del processo (Tabella 1.1).

PROD.	SEQUENZA DELLE OPERAZIONI						n. pezzi anno	n. pezzi per udc	n. udc anno
	1	2	3	4	5	6			
P1	A	C	E	B	D	F	15.000	50	300
P2	C	E	B	F	D	E	12.000	200	60
P3	B	A	E	C	D	F	40.000	250	160

Tabella 1.1 – Cicli di lavoro e produzione annua di tre particolari meccanici

Dopodiché, si costruisce una tabella a doppia entrata (Tabella 1.2) dove nelle intersezioni si scrive per quanti spostamenti la macchina Y è interessata come X-esima posizione.

MACCHINE	POSIZIONI						TOTALE
	1	2	3	4	5	6	
A	300	160	--	--	--	--	460
B	160	--	60	300	--	--	520
C	60	300	-	160	--	--	520
D	--	--	--	--	520	--	520
E	--	60	460	--	--	60	580
F	--	--	--	60	--	460	520

Tabella 1.2 – Posizioni da assegnare alle macchine in base alle lavorazioni

Si calcola poi la posizione media di ogni centro di lavoro, sommando il prodotto degli spostamenti per l'indice della posizione e dividendo per il totale di riga. Approssimando i risultati a cifre intere, si perviene alla disposizione finale (Figura 1.7)

MACCHINE	Posizione Media	Posizione Reale
A	1,3	1
B	3	3
C	2,5	2
D	5	5
E	3,2	4
F	5,8	6

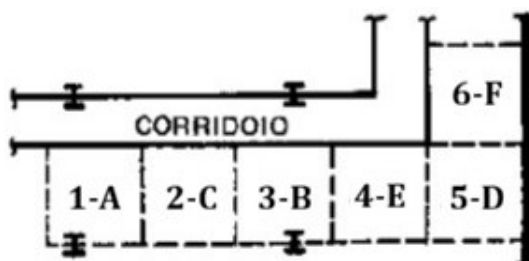


Figura 1.7 – Posizioni da assegnare alle macchine e disposizione finale

Lo **Spaghetti Chart** è uno strumento che traccia il percorso fisico delle unità di carico sulla planimetria di reparto. Il numero di linee rappresentate indica il numero di trasporti eseguiti, dalle quali è possibile mettere in evidenza la distanza tra centri di lavoro successivamente coinvolti ed individuare corridoi ad alto flusso logistico.

Il **Takt Time** è il ritmo della produzione. Identifica il tempo necessario a produrre un singolo semilavorato ed è associato alla postazione più lenta, detta *collo di bottiglia*. Viene determinato dalla domanda annuale del cliente prevista, secondo la relazione:

$$T_{takt} = \frac{\text{Tempo Utile Disponibile} \cdot \text{OEE}}{\text{Domanda del mercato}} \quad (1.2)$$

dove **OEE** (*Overall Equipment Effectiveness*) è un rendimento che tiene conto dell'efficienza dei vari sistemi, dei fermi macchina e dei tempi di setup. Questo coefficiente abbassa il tempo utile disponibile per la produzione; di conseguenza, per soddisfare la stessa domanda del mercato, il sistema opererà con un ritmo più serrato rispetto a quello ideale ($OEE=1$).

La **Saturazione** di un impianto è espressa dal rapporto percentuale tra il tempo di utilizzo effettivo e il tempo di un turno lavorativo. Saturare le proprie risorse in risposta alla domanda reale (approccio produttivo *pull*) segue la filosofia giapponese *just-in-time*, che mira all'azzeramento degli sprechi (*muda*) di tempo e di scorte accettando di impiegare eventuali periodi di inattività per eseguire migliorie e riassetto del layout. Al contrario, la filosofia occidentale mira alla saturazione degli impianti indipendentemente dalla richiesta del cliente (approccio produttivo *push*), tendendo a generare sovrapproduzione e scorte.

Il tempo totale dall'inizio alla fine di un processo è detto **Lead Time**. Può essere di approvvigionamento, di produzione, di distribuzione o complessivo.

L'edificio produttivo si colloca all'interno di un sito industriale collegato ai magazzini di stoccaggio della materia prima e dei prodotti finiti. La disposizione reciproca di queste strutture costituisce il **Plant Layout**. Considerando anche uffici, mensa, piazzali, strade interne, parcheggi, aree verdi e recinzioni, si parla di Piano Regolatore Generale (PRG).

1.4 Robotica

Un **Robot** è una struttura meccanica multifunzionale progettata per spostare materiali, utensili o dispositivi speciali secondo movimenti programmati per l'esecuzione di un compito.

(*Robot Institute of America, 1980*)

È costituito da corpi rigidi (*link*) e giunti che combinati permettono di muovere l'organo terminale (**end effector**) nello spazio di lavoro (*workspace*) in tutti i sei gradi di libertà. Alcune parti sono nominate in analogia con l'anatomia del braccio umano: la **Spalla** (giunti 1 e 2) e il **Gomito** (giunto 3) posizionano l'estremità del robot nello spazio, mentre il **Polso** (giunti 4, 5 e 6) è responsabile dell'orientazione.

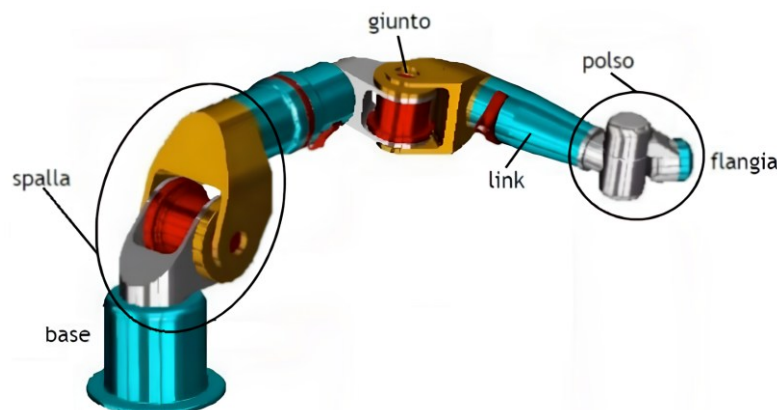


Figura 1.8 – Elementi costitutivi di un sistema robotico

Nonostante le strutture attualmente realizzabili siano solo cinque (Figura 1.9), industrialmente tre sono largamente impiegate:

- **Robot Cartesiano**: identificato da tre giunti prismatici, ognuno di essi corrisponde ad un grado di libertà cartesiano permettendo una semplice programmazione del movimento dell'*end-effector* nel volume di lavoro;
- **Robot SCARA**: identificato da due giunti rotoidali e uno prismatico, viene impiegato per le operazioni di *pick & place* in volumi ridotti con estrema rapidità e precisione;
- **Robot Antropomorfo**: identificato da soli giunti rotoidali (fino a 6), è in grado di garantire la miglior *destrezza*, ovvero la più ampia capacità di orientare nel *workspace* l'oggetto prelevato.

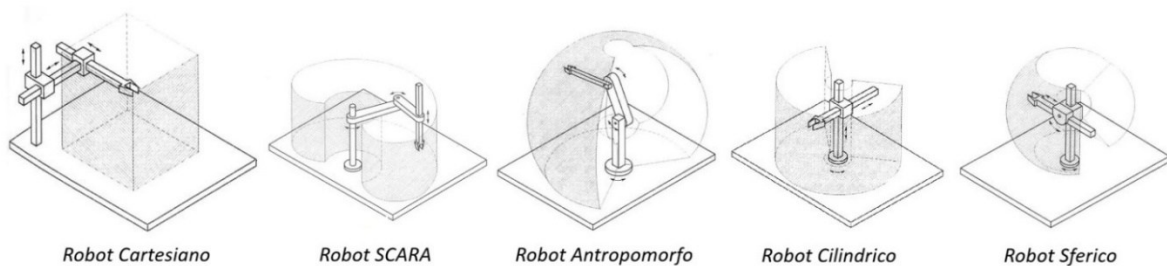


Figura 1.9 – Architetture di robot industriali

L'abilità del sistema di ritornare esattamente nella medesima posizione è definita **Ripetibilità**, mentre la massima distanza raggiungibile è detta **Sbraccio** (*reach*).

È importante notare che, a parità di carico sollevato, l'architettura seriale fa sì che la precisione di posizionamento diminuisca man mano che il robot si allunga. Per questo motivo, viene definito **Payload** il peso massimo movimentabile con accuratezza in tutto il volume di lavoro.

Una variante della struttura antropomorfa è rappresentata dai **Robot pallettizzatori** (Figura 1.10): essi presentano meccanismi articolati a parallelogramma che vincolano la flangia terminale a rimanere sempre parallela al piano di appoggio. La programmazione è semplificata dal controllo di soli tre assi braccio e uno per l'orientazione. Grazie a tale configurazione, questi robot garantiscono precisione negli spostamenti di grossi *payload*, rendendoli la scelta migliore per le operazioni di pallettizzazione.



Figura 1.10 – Robot antropomorfo pallettizzatore

Una volta definite le coordinate obiettivo della flangia terminale nel *workspace*, il sistema di controllo del robot deve gestire la **pianificazione di una traiettoria**. Questa fase consiste nel calcolo matematico del percorso ottimale tra la posizione iniziale e quella finale, definendo non solo il tragitto geometrico, ma anche i profili temporali di velocità e accelerazione. Per garantire fluidità, si adottano spesso leggi orarie polinomiali che permettono di imporre condizioni di continuità oltre che sulla posizione anche sull'accelerazione per minimizzare l'innescò di vibrazioni strutturali.

Solitamente, i robot devono essere inclusi in **gabbie rigide** per isolare l'area operativa e prevenire collisioni accidentali con il personale. Tuttavia, esistono anche robot progettati per la cooperazione diretta con l'uomo senza barriere fisiche, i **Cobot**. Essi sono dotati di sistemi di sensori più avanzati, in grado di rilevare la presenza dell'operatore nel volume di lavoro e rallentare o arrestarsi per prevenire una collisione. A tal fine, i link sono smussati e costituiti di materiali specifici per assorbire l'energia cinetica in caso di contatto.

1.5 Normative in materia di Sicurezza

D. Lgs 81/2008: Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro: è la normativa italiana che regola la prevenzione, la sicurezza e la tutela della salute nei luoghi di lavoro.

Direttiva Macchine 2006/42/CE: normativa cardine dell'UE, impone la **marcatura CE**, un simbolo che attesta la conformità di macchinari industriali, attrezzature e DPI alle norme di sicurezza e salute per la libera circolazione nel mercato europeo. L'operazione di ammodernamento tecnologico di un impianto industriale al fine di allinearla a queste leggi è chiamata **Revamping**.

1.6 Ingegneria Economica

L'operatività di uno stabilimento industriale comporta **Costi Fissi**, indipendenti dal volume produttivo (es. strutture, licenze software, manutenzione programmata) e **Costi Variabili**, legati direttamente al volume produttivo (materie prime, energia, **costo della manodopera**). La loro somma costituisce il **Costo totale** di produzione, mentre il **costo unitario** di un articolo si ottiene dividendo per il numero di pezzi prodotti.

Il **Prezzo al consumatore** è infine più alto in seguito all'applicazione della **Marginalità** da parte dall'azienda, la quale permette di ottenere un ricavo dalla vendita coprendo i costi leganti alla distribuzione e al trasporto.

La fattibilità economica di un progetto risiede nel bilanciarne i costi con i ricavi derivanti dall'impiego. Il parametro di partenza per la valutazione è il **CAPEX** (*Capital Expenditure*), ovvero l'investimento iniziale per l'acquisto di un bene o un servizio; poiché esso sarà utilizzato per più anni, il suo costo non viene imputato interamente al momento dell'acquisto ma è ripartito annualmente attraverso la **Quota di ammortamento**.

Altri indicatori chiave per lo studio della redditività di un progetto sono:

- Il **ROI (Return on Investment)**: Rapporto tra il Valore Aggiunto generato dall'investimento (produzione meno consumi e ammortamento) e il capitale investito per ottenerlo. In altre parole, esprime in percentuale quale quota del capitale viene recuperata ogni anno.

$$ROI = \frac{\text{Valore Aggiunto derivato dall'investimento}}{CAPEX} \cdot 100 \quad (1.3)$$

- Il **Payback Time (PBT)**: Misura quanto tempo è necessario affinché le entrate di cassa compensino il CAPEX. È un indicatore di rischio perché un valore troppo elevato è segnale che l'investimento rischia di diventare obsoleto prima di averlo recuperato. (Ai fini della presente analisi, si utilizzerà il calcolo non attualizzato: sebbene meno rigoroso, è più immediato per verificare se i risparmi generati siano sufficienti a coprire l'investimento iniziale entro il limite di 10 anni imposto dall'azienda.)

$$PBT = \frac{CAPEX}{\text{Flusso di Cassa Annuo}} \quad (1.4)$$

L'automazione sposta la struttura dei costi verso la componente fissa. Questo implica che più un impianto lavora (maggiore saturazione), più i costi fissi vengono ripartiti su un numero elevato di pezzi, abbassando il costo unitario di produzione. Questo meccanismo permette di aumentare la marginalità, incrementare il ROI e ridurre il *Payback Time*. Inoltre, la riduzione del costo della manodopera rende superflue le strategie di **esternalizzazione** e **delocalizzazione** in paesi a basso costo a favore di una produzione interna competitiva.

Tutti i movimenti economici e finanziari sviluppati dall'impresa nell'anno fiscale sono raccolti nel **Bilancio** d'esercizio. Questo documento si articola principalmente in due prospetti: lo **Stato Patrimoniale**, che fotografa la composizione del capitale diviso tra investimenti e finanziamenti, e il **Conto Economico** che evidenzia invece la ripartizione di costi e ricavi.

La **IV Direttiva CEE** prevede la riorganizzazione delle voci di bilancio secondo le strutture mostrate nelle Figure 1.11 e 1.12, al fine di creare uno standard per tutte le imprese dell'UE.

FATTURATO
+ Δ Scorte prodotti finiti e semilavorati
PRODUZIONE
-CONSUMI
= Acquisti materie
+ Acquisti servizi
-Scorte materiali
VALORE AGGIUNTO
- Costo del lavoro
MARGINE OPERATIVO LORDO (EBITDA)
- Ammortamenti
MARGINE OPERATIVO NETTO (EBIT)
- Oneri finanziari
UTILE LORDO
- Imposte sul reddito
UTILE NETTO D'ESERCIZIO

Figura 1.11 – Schema di Conto Economico riclassificato secondo IV Direttiva CEE

IMMOBILIZZ. NETTE	MATERIALI Terreni, Edifici, Impianti, Macchinari, Attrezzature, Acconti e lavori in corso, MENO: Fondi ammortamento	CAPITALE PROPRIO	CAPITALE NETTO (CN)	Capitale Sociale, Riserve, utile d'esercizio, utili anni precedenti, MENO: Crediti verso azionisti, perdita d'esercizio
	IMMATERIALI Brevetti, licenze, spese capitalizzate, acconti, lavori in corso FINAZIARIE Partecipazioni e crediti a lungo termine	CAPITALE DI TERZI	DEBITI A MEDIO E LUNGO TERMINE (M/LT)	FINANZIARI Mutui e obbligazioni
CAPITALE CIRCOLANTE LORDO (CCL)	MAGAZZINO		DEBITI A BREVE TERMINE (BT)	OPERATIVI Fondo TFR (escluse le quote da rimborsars entro l'anno)
	LIQUIDITÀ DIFFERITE Clienti e altri crediti a breve, Titoli speculativi, ratei e risconti			FINANZIARI Debiti a breve verso banche e quota corrente debiti finanziari a M/L
	LIQUIDITÀ IMMEDIATE Cassa e banca			OPERATIVI Fornitori, fondo imposte, Ratei e risconti, quota corrente de fondo TFR, debiti verso l'erario
CAPITALE INVESTITO NETTO (CIN)		CAPITALE INVESTITO NETTO (CIN)		

Figura 1.12 – Schema di Stato Patrimoniale riclassificato secondo IV Direttiva CEE

Il Conto Economico (Figura 1.11) illustra il calcolo dell'**Utile d'esercizio** attraverso:

- **Valore della Produzione:** indica il valore complessivo di quanto l'azienda ha prodotto e include il fatturato (ovvero il venduto) e le scorte di magazzino;
- **Margine Operativo Lordo (MOL o EBITDA):** ottenuto sottraendo al valore della produzione i consumi di materie prime e il costo del lavoro, rappresenta la ricchezza generata dalla sola gestione tipica dell'impresa, senza considerare ammortamenti, oneri finanziari e imposte;
- **Margine Operativo Netto (MON o EBIT):** ottenuto sottraendo al MOL le quote di ammortamento, indica la redditività operativa dell'impresa;
- **Utile Lordo d'esercizio:** ottenuto sottraendo il costo della gestione finanziaria;
- **Utile Netto d'esercizio:** ottenuto sottraendo le imposte, rappresenta il guadagno effettivo che rimane all'azienda. se negativo è detto invece *Perdita d'esercizio*.

Lo stato patrimoniale (Figura 1.12) è invece suddiviso in Attivo e Passivo. Nell'attivo figurano:

- **Immobilizzazioni Nette:** rappresentano il valore residuo dei beni a lungo termine, calcolato come costo d'acquisto meno il totale già destinato ad ammortamento;
- **Capitale Circolante Lordo:** l'insieme delle risorse destinate a trasformarsi in liquidità nel breve periodo.

Nel passivo invece si trovano:

- **Patrimonio Netto:** costituito dal capitale dei soci, dall'utile dell'anno corrente e dalle riserve, rappresenta le risorse interne su cui l'azienda può contare per i propri investimenti;
- **Debiti:** operativi e finanziari, a breve e medio lungo termine.

Il totale dell'attivo (e del passivo) è definito **Capitale Investito Netto** e costituisce l'insieme delle risorse operative che l'azienda può utilizzare per generare valore.

2 Il Sistema Produttivo di ALESSI S.p.A.

ALESSI S.p.A. è un'azienda italiana di fama internazionale che da oltre un secolo opera nel settore della produzione di oggetti di design per la casa e la cucina. Riconosciuta per la qualità estetica e l'affidabilità dei suoi prodotti, l'azienda vanta una profonda competenza nella lavorazione dell'acciaio inossidabile che le permette di realizzare le richieste provenienti da designer di fama mondiale come Alessandro Mendini, Aldo Rossi, Ettore Sottsass, Richard Sapper, Achille Castiglioni, Stefano Giovannoni, Philippe Starck e Marta Sansoni.

2.1 Stato Attuale dell'Azienda

Si presenta innanzitutto un'analisi dettagliata della situazione attuale dell'azienda evidenziata a ottobre 2025, con dati economici e operativi riferiti all'esercizio 2024. Lo scopo è quello di identificare punti di forza e di debolezza per definire strategie di crescita e miglioramento.

Assetto Societario

Dal punto di vista giuridico, ALESSI è una società per azioni (S.p.A.) e società Benefit. In linea con questa denominazione, oltre a perseguire il profitto, l'azienda ha tra le proprie finalità uno o più obiettivi di beneficio comune che riguardano la società, il territorio e l'ambiente. A conferma di questo impegno, l'azienda è anche certificata B Corp. L'impresa è attualmente guidata da un consiglio di amministrazione costituito dalla famiglia Alessi e dal fondo britannico "Oakley Capital", in seguito ai suoi recenti investimenti azionari. ALESSI, si compone di 8 società: la capogruppo italiana e 7 filiali estere.

Sintesi Economico-Finanziaria e Patrimoniale

Sul piano economico, l'azienda produce un fatturato fortemente internazionale (38% Italia, 37% UE e 25% extra UE), che nel 2024 è stato di €70.8 milioni a fronte di più di €80 milioni di ricavi. I costi di produzione, inclusi gli ammortamenti di macchinari e attrezzature, ammontano a €74.5 milioni, portando il Margine Operativo a un valore negativo di -€326.000. Per migliorare tale marginalità, l'obiettivo finanziario primario è lo sfruttamento di ogni opportunità per abbattere i costi di produzione, del personale e della gestione esterna.

Dal punto di vista patrimoniale, l'azienda si dimostra robusta: Attività Totali per €63 milioni e un Patrimonio Netto di €18.8 milioni forniscono una solida garanzia finanziaria, mentre la base produttiva attuale è rappresentata dalle Immobilizzazioni nette per €9.4 milioni.

A fronte di questi risultati di esercizio, l'obiettivo finanziario aziendale è quello di sfruttare questa stabilità e la facilità di accesso al credito per investire in macchinari e processi produttivi che possano avere un ritorno a medio termine, rendendo il prodotto più competitivo sul mercato.

Posizionamento Commerciale e Strategico

A livello commerciale, ALESSI si posiziona nel segmento "design e casalinghi premium". La sua efficacia è supportata da circa duemila clienti attivi totali, in cui i Top 10 generano più del 20% del fatturato.

Per quanto riguarda la distribuzione, il marketing mix è ripartito tra la vendita diretta al consumatore finale (35%), all'ingrosso (60%) e *Business-to-Business (B2B)* (5%). I consumatori possono acquistare gli articoli ALESSI tramite i negozi fisici in Italia e negli Stati Uniti o attraverso le principali piattaforme di marketplace digitali e il sito ufficiale dell'azienda. All'estero, viene esportata circa il 65% della produzione in oltre 50 paesi diversi, impiegando figure note come "Distributori" per raggiungere il compratore finale.

Attualmente, l'obiettivo a breve termine è di riuscire a rimanere competitivi sul mercato, affidandosi alla mission *"Creare straordinari oggetti di Design che fanno sognare, sentire, pensare e vivere la poesia ogni giorno"* che è l'essenza aziendale da oltre un secolo.

Situazione Operativa e Produttiva

Il diagramma P-Q di ALESSI, riferito alla produzione 2024 è mostrato in Figura 2.1.

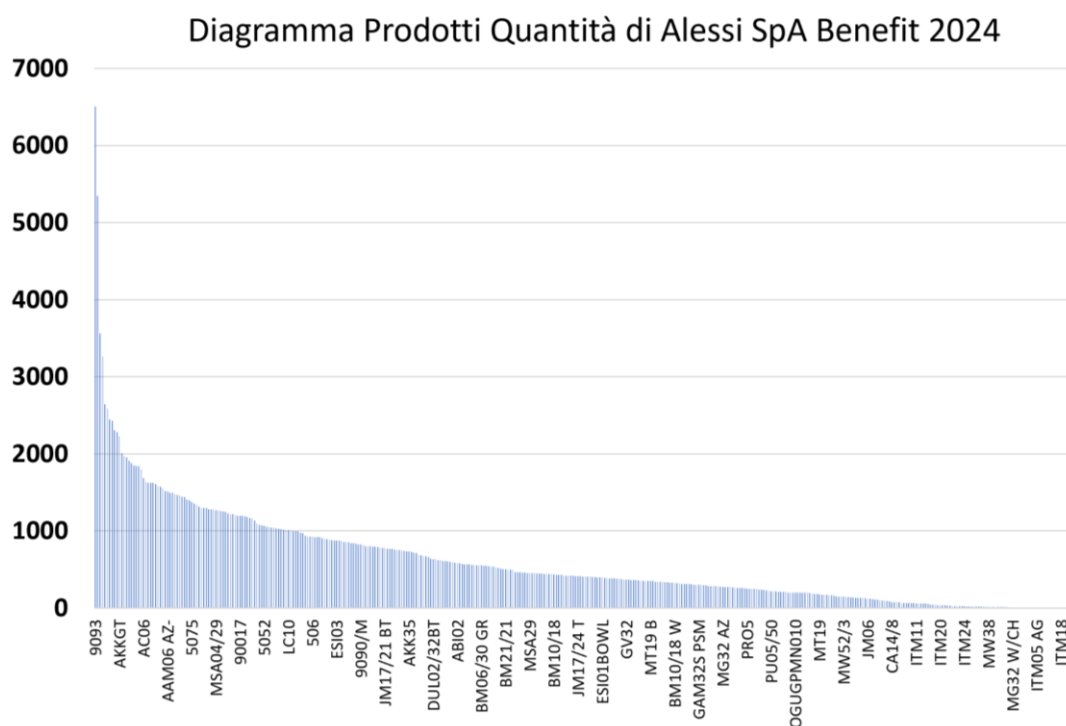


Figura 2.1 – Diagramma Prodotto quantità di ALESSI

L'azienda immette sul mercato oltre 400 prodotti ma in lotti limitati per valorizzarne il design. La produzione aziendale è quindi organizzata secondo un layout per processo, che consente un ottimo controllo sui processi ad alta precisione e integra una notevole flessibilità organizzativa. Ha tuttavia alcuni svantaggi, tra cui gli elevati tempi di attraversamento e la difficoltà nel seguire i flussi dei prodotti e la pianificazione della produzione.

Attualmente sono impiegati circa 240 dipendenti, di cui solo 60 sono dedicati ai reparti produttivi. Questo numero, limitato se confrontato al vasto parco macchine installato, è il risultato diretto di un netto cambiamento nei volumi produttivi avvenuto negli ultimi dieci anni. In passato, infatti, gli elevati volumi produttivi hanno giustificato l'impiego di più personale per gestire il funzionamento in parallelo dei macchinari; oggi, la transizione verso lotti di produzione di poche migliaia di pezzi ha ridotto il fabbisogno di manodopera, lasciando macchinari sottoutilizzati.

Supply Chain e Fornitori Esterni

Per quanto riguarda la catena di approvvigionamento, l'azienda si affida a circa cento fornitori esterni, essenziali per garantire la continuità operativa e la qualità dei prodotti. Essi costituiscono una rete che include forniture di materie prime, lavorazioni sui prodotti, servizi informatici, per la logistica e per il packaging.

Sebbene siano attive alcune collaborazioni internazionali, i partner sono localizzati principalmente nell'area di Omegna, in continuità con la tradizione storica che ha conferito a questa zona il titolo di *“capitale europea del casalingo”*.

Questa prossimità non solo garantisce un controllo qualità diretto, tempi di consegna ridotti e una maggiore flessibilità rispetto alle catene di approvvigionamento globali, ma è alla base di relazioni consolidate e di lungo termine, fondate sull'affidabilità e la capacità di rispettare gli standard qualitativi imposti da ALESSI.

2.2 Lo Sviluppo di un Nuovo Prodotto

In questa sezione viene spiegato il processo di sviluppo di un nuovo prodotto, dalla proposta iniziale del designer alla sua realizzazione effettiva. Nella trattazione verranno descritti in dettaglio l'iter di approvazione del design e la messa in produzione attraverso i vari reparti.

2.2.1 Dal Designer alla Produzione

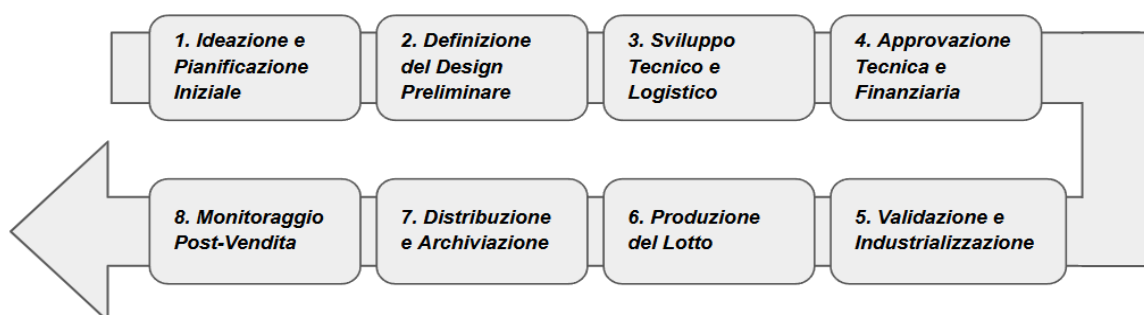


Figura 2.2 – Flusso di Sviluppo di un prodotto

Il processo di sviluppo del prodotto, rielaborato a tutela del segreto industriale in Figura 2.2, è una sequenza collaborativa e interdisciplinare che ha inizio con la fase di *ideazione e pianificazione del prodotto*. In questo momento iniziale, il team marketing e l'ufficio tecnico lavorano congiuntamente per valutare il potenziale di successo del prodotto attraverso criteri aziendali consolidati.

Successivamente, il designer collabora con l'ufficio marketing nella *definizione del design preliminare* per tradurre la propria visione creativa in un concept concreto. Attraverso la pluriennale esperienza nella lavorazione dell'acciaio inossidabile, si coniuga l'estetica del design con la *fattibilità tecnica* del prodotto. Questa fase si conclude con l'*approvazione tecnica e finanziaria* del prototipo finale.

Si passa quindi alla fase di *validazione e industrializzazione*, durante la quale vengono condotti i test di qualità. Definite le previsioni di vendita e il volume produttivo iniziale, viene avviata la *produzione* e, a seguito dell'approvazione finale alla *distribuzione*, il prodotto viene immesso sul mercato.

L'iter si conclude con il *monitoraggio delle performance post-vendita* attraverso i riscontri dei clienti e l'*archiviazione* del progetto.

2.2.2 Il Magazzino Materie Prime e Taglio Profili

Le lavorazioni degli stabilimenti produttivi prendono avvio in quest'area.

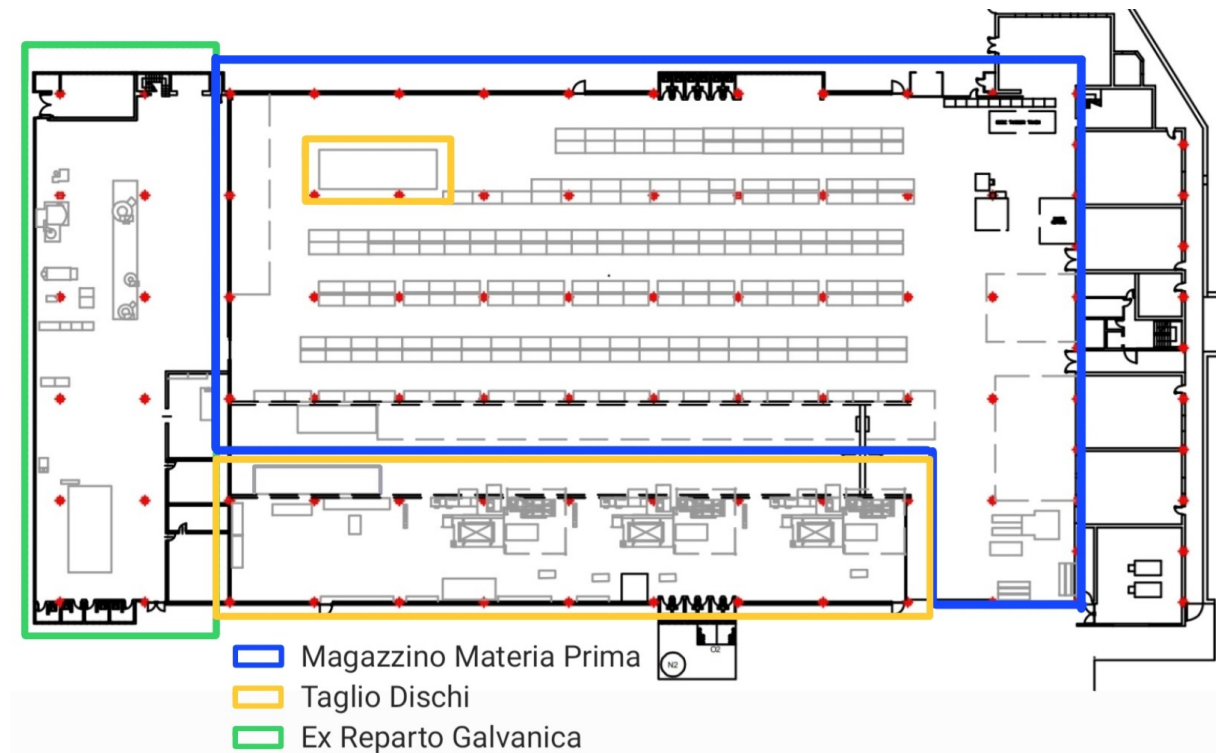


Figura 2.3 – Plant Layout dell'area produttiva "Magazzino Materie Prime e Taglio Profili"

Le Materie Prime

L'azienda acquista in Europa principalmente acciaio inossidabile "AISI 304", di spessore compreso tra 0,8 e 1,2 mm e in 3 formati: lamiere, dischi di misure standard e *Coils*.

Disponibili in due finiture superficiali, la scelta è dettata dal tipo di lavorazione a cui saranno sottoposti:

- **Finitura BA (Bright Annealed)**: di aspetto lucido, viene utilizzato per la produzione di articoli che non devono subire significative deformazioni, quali il taglio laser degli sviluppi, imbutiture poco profonde e lavorazioni di piegatura;
- **Finitura 2B DDQ**: di aspetto opaco, è idoneo alle lavorazioni di profondo stampaggio.

Altri materiali acquistati includono l'acciaio AISI 430 per realizzare i fondi degli articoli utilizzati sui fornelli a induzione e l'acciaio a basso tenore di carbonio DC04 destinato al taglio laser dei prodotti che necessitano di verniciatura. In misura minore, si acquisiscono anche AISI 316 per la produzione di gioielli e lamiera bilamina acciaio-rame per alcune batterie di pentole.

La materia prima, acquistata in base alle previsioni di produzione, al momento dell'arrivo è sottoposta a un controllo visivo.

Il Taglio dei Profili

Questo reparto fornisce lo stampaggio dei profili necessari per le sue lavorazioni. Tipicamente si tratta di dischi di misure non standard, ottenuti dalla tranciatura dei coils, o sviluppi bidimensionali dei prodotti ottenuti attraverso il taglio laser a controllo numerico.

In reparto sono presenti macchinari che impiegano due diverse sorgenti laser, industrialmente consolidate: la fibra ottica e la miscela di gas.

	Fibra Ottica	Miscela di Gas
Origine del Laser	Luce LED convogliata nella fibra ottica	Eccitazione di una miscela di gas con alta tensione
Velocità di Lavoro	Maggiore (circa il doppio)	Inferiore
Finitura del Taglio	Inferiore (presenza di striature)	Superiore (striature meno visibili)
Gas Protettivo	Azoto	Ossigeno, per il DC04 Azoto, per l'acciaio inox
Impiego	Materiale opaco di bassi spessori	Materiale opaco o riflettente di bassi e alti spessori
Utilizzo in ALESSI	Componenti per successive lavorazioni di deformazione	Sviluppi bidimensionali dei prodotti

Tabella 2.1 – Confronto tra le diverse tipologie di taglio laser presenti in reparto

Il posizionamento sulla lamiera del prodotto da tagliare il maggior numero di volte è gestito attraverso un software (procedura di *Nesting*) e determina la forma e il passo delle strutture di sostegno della lastra, dette **Letti di fachiro**. In ALESSI, per via della grande diversità degli

articoli prodotti, queste strutture sono realizzate internamente attraverso il taglio laser del DC04. Al termine delle operazioni di taglio, il materiale di scarto viene venduto come rottame.

Il Reparto Galvanica

Reparto dismesso a causa di esigenze economiche e gestionali probabilmente legate all'impatto ambientale (Cfr. Paragrafo 2.2.7).

La Logistica di Magazzino

Il magazzino è suddiviso in zone a causa delle grandi dimensioni dei colli stoccati. Lamiere, dischi, coils e stampi per il taglio dei dischi sono posizionati all'esterno delle scaffalature così da garantire la pronta disponibilità ai carrelli. Al contrario, i dischi tranciati e i letti di fachiro sono stoccati mediante un sistema di codifica. La tracciabilità del materiale avviene in termini di peso, anche se i dischi tranciati da coils vengono effettivamente conteggiati.

Un'area del magazzino, denominata "Magazzino Grezzi", è infine riservata ad ospitare i semilavorati prodotti internamente destinati a lavorazioni conto terzi.

2.2.3 Il Reparto Stampaggio

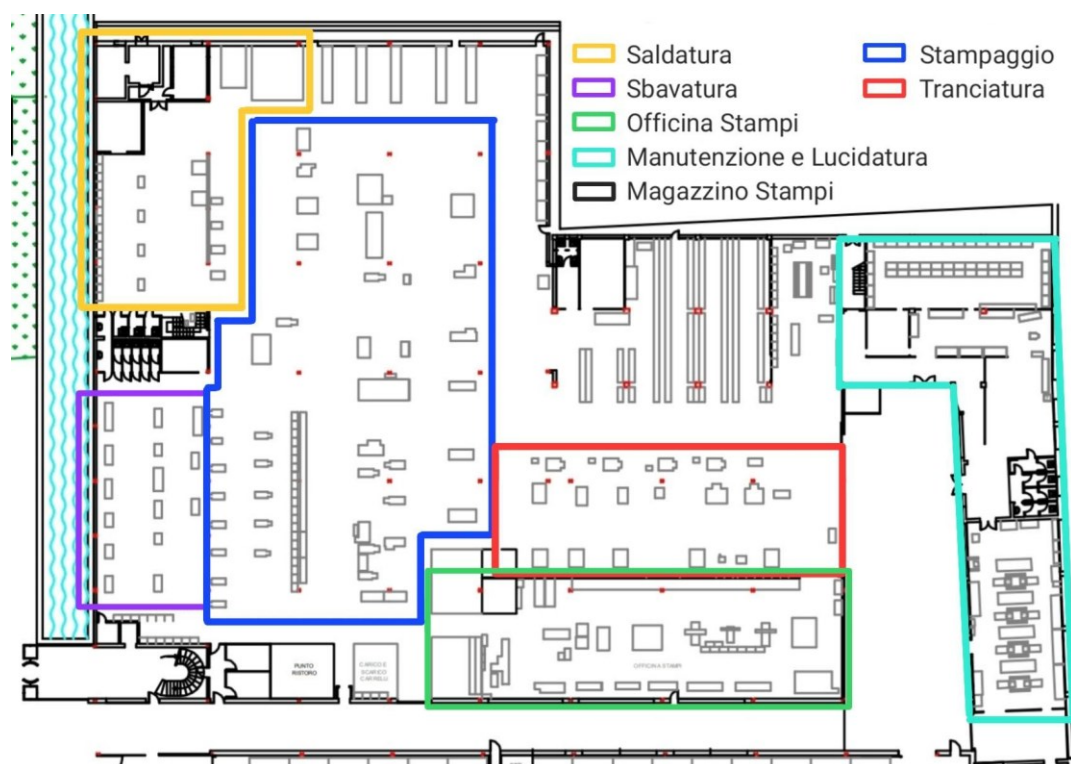


Figura 2.4 – Plant Layout dell'area produttiva "Stampaggio"

Il reparto produttivo costituisce il cuore delle operazioni di trasformazione, combinando processi di Stampaggio (Imbutitura e Tranciatura), Finitura dei Bordi (Sbavatura e Bordatura) e Saldatura (TIG, a Punti, Laser), supportate da un'officina per l'attrezzaggio e la produzione degli stampi.

Di seguito, in continuità con quanto spiegato nel Capitolo 1, si descrivono i vari processi dal punto di vista operativo fornendo dettagli necessarie a sviluppare la base analitica per valutarne l'automazione.

L'Imbutitura

L'operazione di Imbutitura è avviata da un operatore che posiziona in macchina il disco lubrificato. Successivamente, la matrice scende fino a toccare il disco: in questa fase viene applicata una contropressione sul premilamiera. La matrice completa la sua corsa stirando il disco contro il punzone per conferirgli la forma desiderata.

Un cilindro idraulico di sgancio permette l'estrazione del semilavorato. Alcune presse, dette a Triplo Effetto, possono utilizzare questo componente per eseguire una seconda imbutitura contestuale alla precedente. Altre presse non standard dispongono di una corsa maggiore per permettere l'esecuzione di imbutiture più profonde; queste ultime sono dette a Luce Alta.

Il principale vincolo tecnico del processo è legato alle proprietà del materiale lavorato: in particolare, nelle imbutiture profonde o ripetute il metallo subisce un significativo incrudimento che riduce la deformabilità a freddo e pertanto dev'essere mitigato attraverso un trattamento termico di ricottura di distensione, prima di poter procedere con le successive.

Dal punto di vista dell'asservimento, i bilancieri risultano spesso difficili da automatizzare a causa di tempi di ciclo estremamente rapidi e di un'area di lavoro ridotta che limita lo spazio di manovra di un sistema robotizzato.

La Tranciatura

L'operazione ha inizio con il posizionamento del semilavorato sulla matrice che ne definisce la forma finale. Al comando dell'operatore, il premilamiera solidale ai punzoni, scende bloccando saldamente il materiale. Successivamente, la corsa prosegue e i punzoni esercitano l'azione di taglio. Durante la corsa di rientro, prima i punzoni e poi il premilamiera si ritirano, permettendo l'estrazione del prodotto finito. Gli scarti di lavorazione vengono rimossi attraverso un sistema di aspirazione o manualmente.

In ALESSI, tale lavorazione viene solitamente impiegata per la creazione di profili su semilavorati precedentemente imbutiti, le cui geometrie curve rendono complesso il parallelismo tra superficie e utensile.

La tranciatura si distingue per la sua rapidità operativa, tipicamente di circa 1 secondo.

La Finitura dei Bordi

Dopo lo stampaggio, i componenti possono subire lavorazioni di finitura dei bordi. Oltre a Rifilatura e Sbavatura, si eseguono anche operazioni di Bordatura che conferiscono al bordo del semilavorato una forma arrotondata o rettangolare, quest'ultima in preparazione per l'aggraffatura. Queste lavorazioni sono eseguite su centri di lavoro riconfigurabili, costituiti da un mandrino rotante su cui si posiziona il pezzo e da una o più torrette per l'inserimento degli utensili. L'attività di attrezzaggio richiede la sostituzione dell'interfaccia di bloccaggio nel

mandrino e il settaggio dei parametri di lavorazione attraverso un PLC nelle macchine più nuove o tramite manopole che regolano i tempi di lavorazione in quelle più datate.

I processi di Saldatura

Il reparto adotta diverse tecnologie di saldatura per l'assemblaggio dei componenti:

- Nella **Saldatura a Punti**, i componenti sono predisposti con risalti atti a concentrare il potenziale elettrico facilitando la fusione localizzata e l'unione dei due pezzi.
- La **Saldatura TIG** (Tungsten Inert Gas) utilizza un elettrodo infusibile in tungsteno per concentrare l'arco voltaico e fondere assieme i lembi dei materiali; richiede un'atmosfera protettiva di gas inerte Argon-Idrogeno. Nel contesto aziendale, è prevalentemente utilizzata per articoli cilindrici perché un PLC permette di automatizzare la rotazione del mandrino in relazione ai parametri di lavorazione. Questo processo è relativamente lungo perché impiega almeno dieci secondi.
- Infine, la **Saldatura Laser** Robotizzata realizza la fusione dei lembi tramite un laser a fibra ottica in atmosfera di azoto. Il vantaggio distintivo di questa tecnologia è che la giunzione risulta meno visibile traducendosi in una riduzione dei tempi di lucidatura. L'azienda sta lavorando per adattare a questa tecnologia i componenti attualmente ottimizzati per la tradizionale saldatura TIG. Le principali sfide riguardano la ricerca dei parametri ottimali di lavorazione e la difficoltà nell'allineamento dei componenti, spesso accentuata dalle superfici curve degli imbutiti.

La Logistica di Reparto

La movimentazione interna è affidata agli operatori, che trasferiscono manualmente le gabbie su ruote tra le diverse postazioni, ricorrendo all'uso di carrelli elevatori per quelle più pesanti. Questi ultimi sono inoltre indispensabili per la movimentazione degli stampi e per il trasferimento verso gli altri stabilimenti.

In questo contesto, l'attuale efficienza del reparto si fonda sull'organizzazione dell'attrezzaggio: quando un'operazione è in corso su una macchina, un attrezzista esegue il setup della successiva garantendo l'assenza di fermo macchina poiché il tempo di attrezzaggio risulta mascherato, sul ciclo di lavorazione. Questi tempi variano da un minimo di quindici minuti per il cambio dello stampo a un massimo di un'ora per la preparazione dei centri di lavoro.

Il reparto dispone attualmente di quasi 80 macchine a fronte di circa 15 operatori.

L'Officina Stampi

Strategicamente collocata all'interno del reparto produttivo, si occupa della realizzazione e della manutenzione degli stampi.

La produzione utilizza principalmente l'acciaio per utensili KORV 2379 (X155CrVMo12-1). Inizialmente l'officina collabora con l'ufficio tecnico per stabilire il numero di stampi necessari e il loro costo di realizzazione; dopodiché inizia la produzione vera e propria attraverso l'utilizzo di fresatrici e torni manuali o controllo numerico. Di fondamentale importanza è il trattamento

di tempra, eseguito presso fornitori esterni, al rientro dal quale in officina si eseguono le lavorazioni di finitura e il collaudo.

Le caratteristiche tecniche degli stampi variano a seconda del tipo di lavorazione:

- Nella **saldatura**, gli stampi sono realizzati in ottone con inserti in rame. Trattandosi di componenti costosi, vengono spesso riutilizzati per articoli con geometrie simili;
- Nelle operazioni di **imbutitura**, il punzone riproduce la forma interna del semilavorato mentre la matrice definisce la forma esterna. Devono rispettare i rapporti di imbutitura;
- Gli utensili per la **tranciatura**, spesso sottili e di forma complessa, vengono prodotti internamente tramite elettroerosione a filo. Sono inoltre trattati superficialmente per migliorare lo scorrimento ed evitare il grippaggio.

2.2.4 Il Magazzino Prodotto Finito e la Ricevitoria

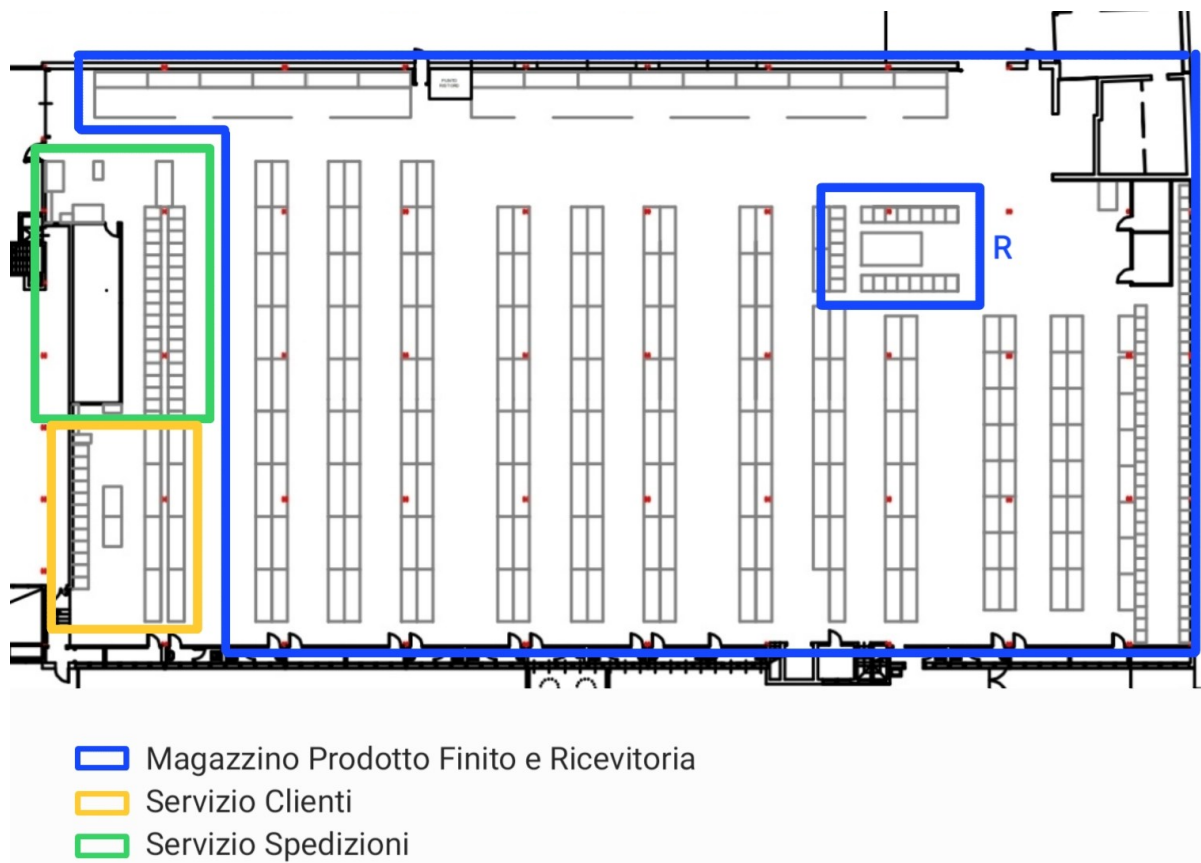


Figura 2.5 – Plant Layout dell'area produttiva "Magazzino Prodotto Finito e Ricevitoria"

Questo reparto gestisce i flussi logistici in entrata dai fornitori e costituisce il vero e proprio magazzino del prodotto finito. Esso ospita diverse categorie di articoli:

- **Prodotti Finiti:** lucidi, in attesa di essere confezionati;
- **Semilavorati:** rientrati da lavorazioni esterne, restano in attesa di essere richiamati dal reparto stampaggio;
- **Accessori:** componenti prodotti internamente o acquistati da fornitori esterni che saranno assemblati sul prodotto finito;

- **Non Conformità:** materiali acquistati esternamente che non soddisfano i requisiti tecnici o qualitativi stabiliti in fase di acquisto;
- Articoli catalogati come “**Seconda Scelta**”: prodotti finiti che presentano lievi imperfezioni superficiali. Non potendo essere riparati e commercializzati come articoli di prima qualità, vengono solitamente proposti ai clienti del negozio aziendale ad un prezzo inferiore;
- **Minuteria**;
- **Imballaggi** e materiali di uso e consumo interno.

Lo stoccaggio è organizzato su scaffalature tradizionali attraverso un sistema di numerazione a tre cifre, che corrispondono rispettivamente alla corsia, all'alzata e al posto di ogni bancale.

Il sistema logistico si avvale di due unità delocalizzate a Omegna: La **Logistica**, dedicata alla gestione delle spedizioni, e la **Docks**, un magazzino di supporto dedicato al solo stoccaggio di tutta la merce prodotta in Italia e all'estero.

La **Ricevitoria** (R) accoglie gli articoli provenienti da fornitori o lavorazioni esterne, effettua un controllo qualità visivo e li indirizza ai reparti di competenza.

In questo stabilimento è presente anche un ufficio **Spedizioni**, il quale gestisce l'uscita di piccoli ordini come ricambi e campionature destinati all'Italia e all'estero. Internamente noto come "Servizio posta", interagisce con i corrieri e redige i documenti doganali e di trasporto. Inoltre, spedisce i prodotti acquistati nel negozio aziendale e si occupa della logistica del materiale medico destinato all'ospedale di Omegna, stoccato in un'area dedicata del reparto come servizio reso alla comunità.

2.2.5 Il Reparto Assemblaggio e Confezionatura

Il reparto di Assemblaggio e Confezionatura è responsabile della preparazione dei prodotti ultimati per la spedizione al magazzino logistica.

La distinta base di un prodotto (*Bill of Materials*), ovvero la tabella che lo scompone nei suoi sottoassiemi costitutivi, è articolata su diversi livelli con specifiche funzioni informative:

- **Livello 0:** Riporta il numero di scatole già confezionate e lo mette in relazione con la previsione di vendita annuale stabilita;
- **Livello 1:** Elenca gli elementi costitutivi della confezione (imballaggio, etichetta, istruzioni e il prodotto stesso) e indica le relative giacenze a magazzino;
- **Livello 2:** Dettaglia i componenti necessari per l'assemblaggio del prodotto finito e le relative quantità disponibili a magazzino.

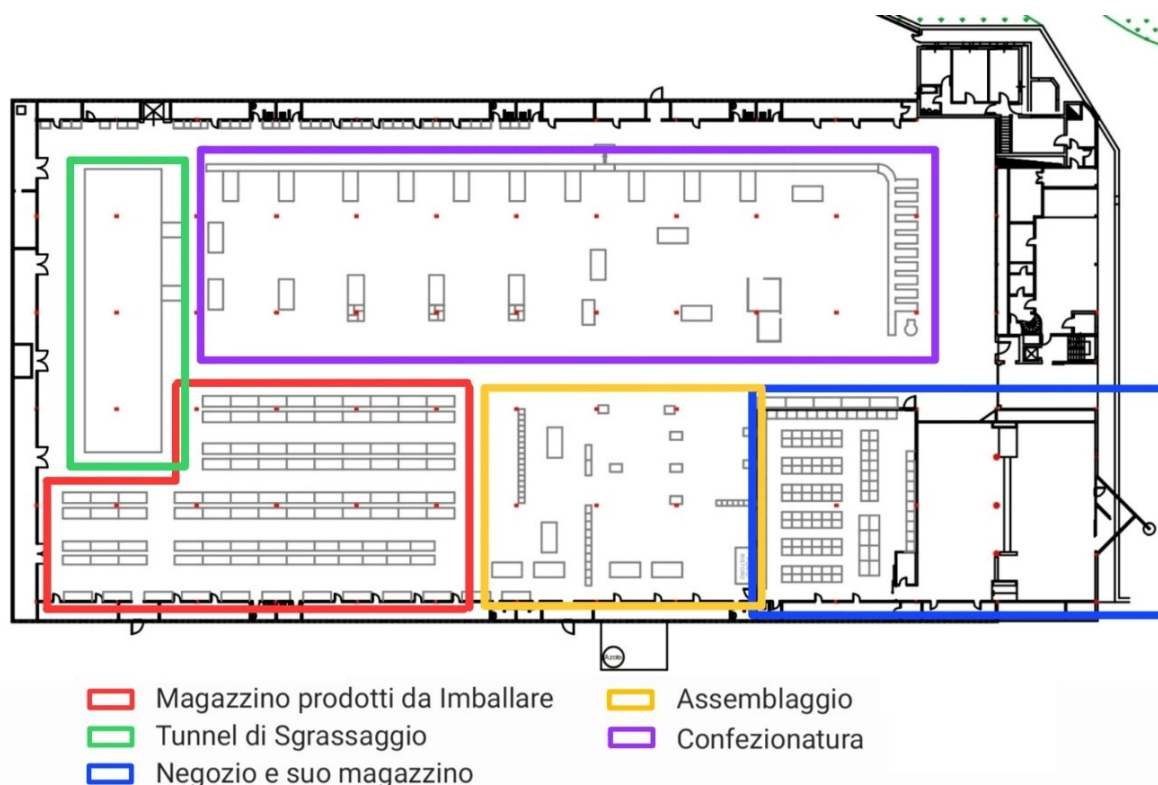


Figura 2.6 – Plant Layout dell'area produttiva "Confezionatura"

Sulla base di questi dati, l'ufficio di pianificazione della produzione verifica la disponibilità complessiva dei vari componenti e definisce quanti e quali articoli devono essere confezionati. L'obiettivo interno è quello di assicurare una costante disponibilità di materiali, garantendo al magazzino logistica uno stock di articoli confezionati sufficiente a coprire almeno due mesi di vendite previste.

Il magazzino di questo reparto ospita le etichette e gli articoli che devono essere lavorati, una scorta di articoli *best seller* e di materiali provenienti dal Prodotto finito.

Il processo produttivo di questo reparto si avvia con il **Tunnel di lavaggio**, il quale rimuove lo sporco e i residui delle fasi di lavorazione precedenti. Successivamente, si procede all'**Assemblaggio** per mezzo di attrezzature ad hoc realizzate dall'officina stampi. In questo reparto viene eseguita la marcatura laser del logo aziendale e del nome del designer.

Si passa quindi alla **Confezionatura**: un operatore attrezza uno dei tavoli disponibili con le scatole appropriate e tutti gli elementi previsti dalla distinta base, tenendo conto delle capacità motorie dei molti operatori in età avanzata. Come accade nel reparto Stampaggio, sono disponibili un numero di tavoli superiore a quello degli operatori per consentire l'allestimento della postazione successiva in tempo mascherato. Generalmente, a ogni tavolo operano due addetti. Alcune postazioni usufruiscono di un nastro trasportatore in grado di separare automaticamente le scatole e indirizzarle su sette rulliere. Questo sistema viene utilizzato prevalentemente quando le operazioni di confezionatura richiedono tempi di esecuzione omogenei, ovvero quando gli articoli in lavorazione sono approssimativamente delle stesse dimensioni.

Infine, un operatore esegue la pallettizzazione e la preparazione per la spedizione attraverso un'avvolgitrice automatica.

In questo reparto è presente anche il magazzino del negozio, gestito dallo stesso, che costituisce la scorta di articoli per la vendita.

2.2.6 I Reparti Lucidatura, Manutenzione e Servizio Clienti

Il sito produttivo è completato da alcuni reparti accessori ma egualmente importanti.

Il Reparto Lucidatura

Questo reparto si occupa di riparare i prodotti che presentano piccoli difetti superficiali. Attraverso mole e paste abrasive, gli operatori lucidano il materiale rendendo l'articolo adatto ad essere venduto come nuovo. L'elevato numero di macchinari in dotazione permette di eseguire internamente la lucidatura di piccoli lotti.

Il Reparto Manutenzione

Quest'area ospita il necessario per eseguire con prontezza la manutenzione ordinaria e straordinaria degli impianti e dei macchinari dello stabilimento. La squadra è composta da elettricisti, giardinieri, meccanici e "tuttofare" che si occupano dell'immobile e delle attrezzature, supervisionano gli interventi esterni nei cantieri aziendali e certificano le lavorazioni eseguite sugli impianti.

Il Servizio Clienti

Situato a fianco all'ufficio spedizioni, il personale del Servizio Clienti gestisce diversi tipi di reso dei prodotti:

- **Resi per difetto o riparazione:** provenienti dai clienti finali;
- **Resi per accredito:** prodotti invenduti restituiti dai dettaglianti;
- **Conti sospesi:** articoli prestati per mostre ed eventi.

La gestione dei resi prevede una fase iniziale di controllo visivo all'apertura del pacco. Gli articoli difettosi vengono smaltiti, mentre quelli con lievi imperfezioni vengono inviati in riparazione al reparto lucidatura. Se necessario, i prodotti possono essere inviati all'ufficio tecnico per verificare che l'anomalia non sia dovuta ad errori di progettazione.

In caso di riparazione, il cliente può optare per il pagamento di un costo agevolato per il servizio e la successiva rispedizione, oppure i prodotti rimangono in stabilimento e vengono destinati a canali di vendita promozionali. I resi per accredito e i conti sospesi in condizioni eccellenti vengono reintrodotti nella logistica per la vendita, altrimenti vengono destinati alla seconda scelta.

2.2.7 Le Lavorazioni Esterne

Come anticipato nell'analisi della Supply Chain, i fornitori esterni rappresentano un nodo cruciale per ALESSI. Le lavorazioni esterne sono principalmente trattamenti superficiali:

- **Preparazione:** eseguita da una ditta consolidata e affidabile che impiega centri di lavoro automatizzati multi-postazione, lucida i prodotti destinati a successive lavorazioni interne che, a causa della loro geometria futura, impedirebbero di compiere questa operazione in coda;
- **Lucidatura Elettrolitica:** processo galvanico di riduzione della rugosità superficiale, è affidata a un fornitore consolidato e di alta qualità che impiega alcuni macchinari provenienti dall'ex reparto galvanica di ALESSI;
- **Lucidatura Finale:** eseguita prima del lavaggio e del confezionamento;
- **PVD (*Physical Vapour Deposition*)**
- **Ricottura di distensione:** Trattamento termico essenziale per ripristinare la formabilità dell'acciaio, è stato esternalizzato poiché l'utilizzo intermittente del forno interno portava a un disallineamento con le scadenze di consegna.

Storicamente, l'esternalizzazione di questi processi è avvenuta in risposta alla contrazione dei volumi produttivi, che ha reso insostenibili gli investimenti per i macchinari. Nonostante questa scelta fosse economicamente razionale, oggi l'affidamento a imprese esterne ha evidenziato episodi di rallentamento nelle consegne che hanno incrementato notevolmente i tempi di produzione e di consegna dei prodotti. Il vincolo maggiore è rappresentato dalle lavorazioni intermedie ai cicli, per cui i semilavorati rimangono presso il fornitore per periodi prolungati e incontrollabili a causa delle priorità operative di quest'ultimo.

2.3 Analisi del Plant e dei Processi Produttivi

2.3.1 Analisi del Plant Layout

Il Plant Layout di ALESSI (Figura 2.7) si sviluppa su due strutture interconnesse, definendo un flusso logistico multipiano e multidirezionale:

- **Struttura A:** Articolata su due livelli, al piano interrato si trova il Magazzino Materie Prime e Taglio Profili (riquadro blu), mentre al piano terra si trova il reparto Confezionatura (riquadro rosso);
- **Struttura B:** posizionata interamente al piano terra, si articola in due fabbricati. Da un lato si trova il Reparto Stampaggio (riquadro giallo), dall'altro lato si trova il Magazzino Prodotto Finito (riquadro verde).

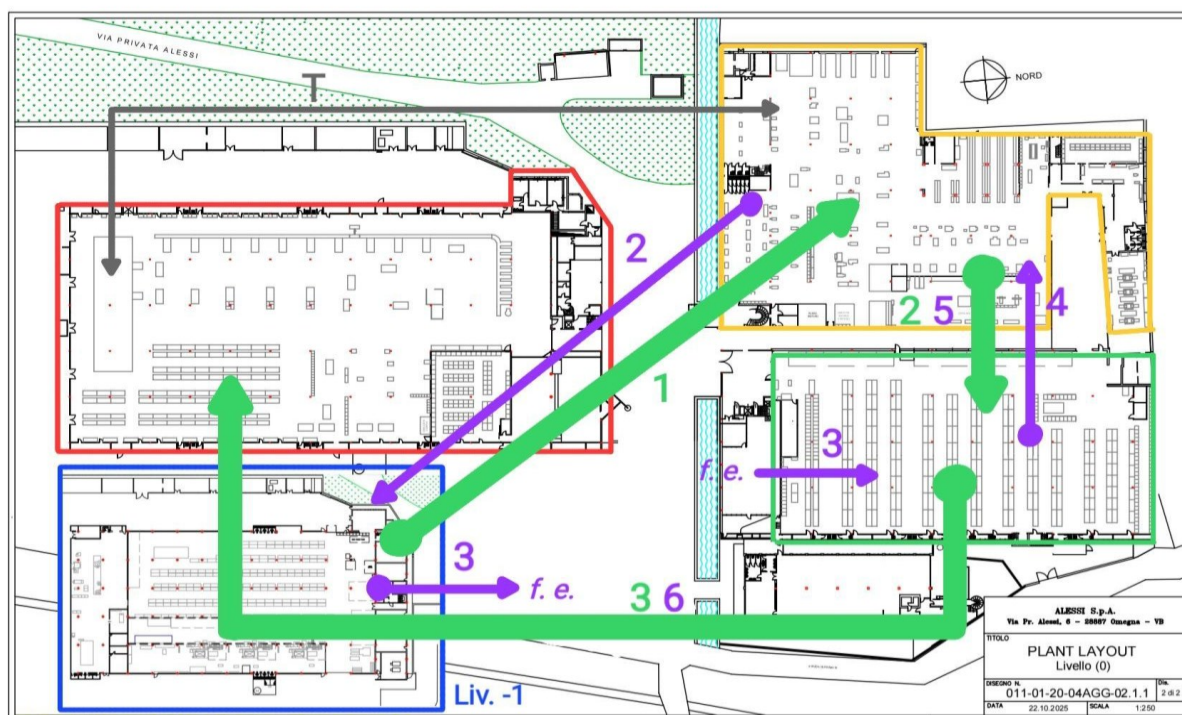


Figura 2.7 – Plant Layout e densità dei Flussi logistici

La movimentazione dei materiali segue due flussi principali:

- **Flusso Primario** (Frecce Verdi): segue il percorso dei prodotti realizzati interamente ed è quello a volume maggiore. Inizia con il trasferimento dal magazzino materie prime al reparto stampaggio (1), prosegue verso il magazzino prodotto finito (2), e termina con il trasferimento al reparto confezionatura (3).
- **Flusso di Rilavorazione** (Frecce Viola): questo flusso è dedicato ai prodotti che necessitano di lavorazioni conto terzi. Dopo lo stampaggio (1), la merce viene inviata al Magazzino grezzi (2) che la spedisce (3) al fornitore esterno (f.e.). Al rientro in Ricevitoria (3), sarà poi richiamata dal reparto Stampaggio (4) per le lavorazioni successive. Il ciclo si conclude congiungendosi al flusso primario (5 e 6).

Esiste poi un terzo flusso logistico, il Flusso verso il Tunnel di lavaggio (Frecce Grigie), costituito dai semilavorati che necessitano di essere sgrassati prima di procedere con ulteriori lavorazioni.

Appare subito evidente che i tempi di spostamento tra i due stabilimenti e l'interruzione del flusso secondario dovuta alla presenza delle lavorazioni esterne, ricoprono una parte consistente del lead time. L'attuale configurazione del layout non è il risultato di una progettazione ottimizzata in chiave moderna, ma è frutto dell'evoluzione storica della produzione aziendale. Se negli anni '70 la disposizione era organizzata per centri di lavoro affinché gli attrezzisti potessero specializzarsi sulle varie tipologie di macchinari, nel tempo le infrastrutture produttive si sono evolute mantenendo però la struttura logica di base.

2.3.2 Diagramma di Flusso dei Cicli Produttivi

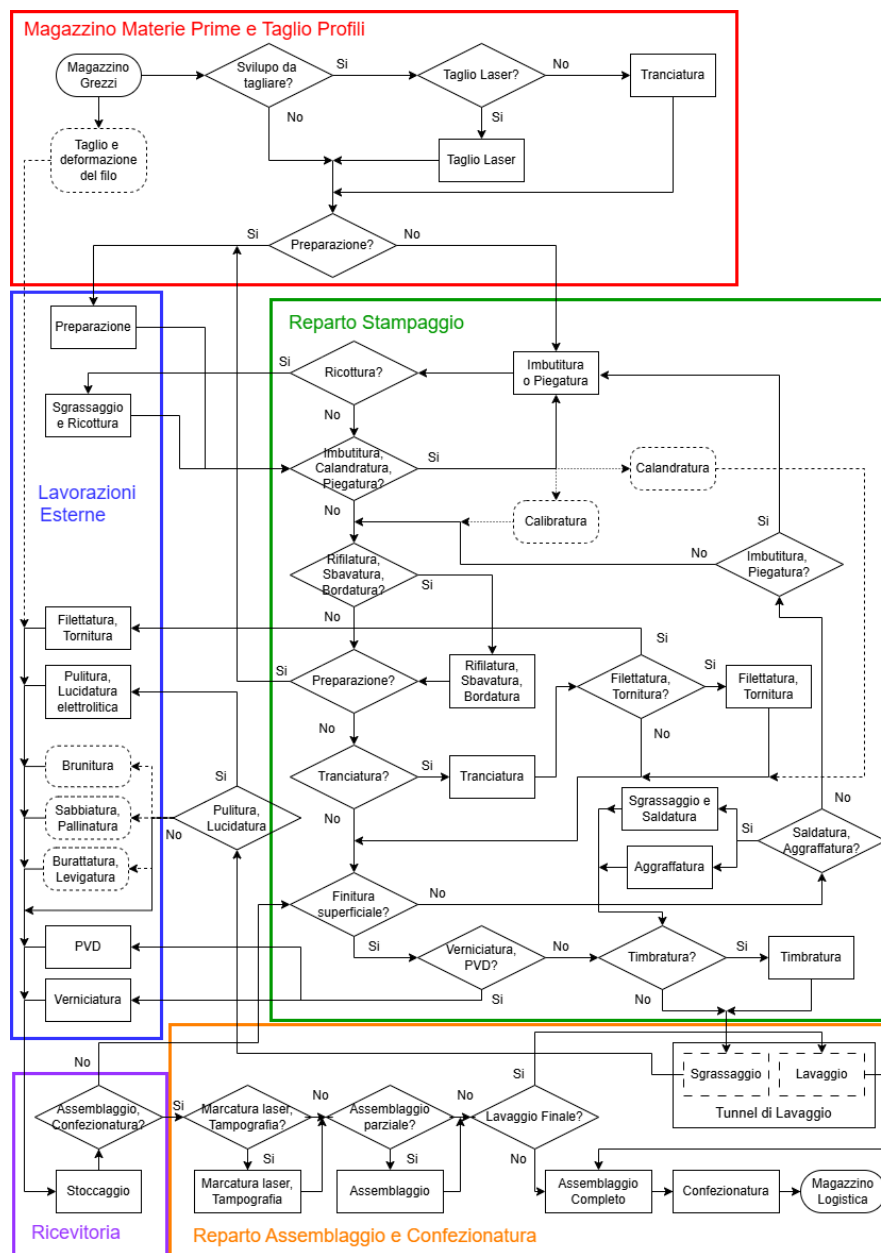


Figura 2.8 – Flow chart dei processi produttivi ALESSI

Fonte: Adattato da: Prino F., "Progetto e stima costi di una linea robotizzata per l'asservimento presse nello stampaggio di casalinghi in acciaio", p. 7.

Per evidenziare la complessità produttiva degli articoli, si riporta di seguito un diagramma di flusso adattato dal lavoro di tesi di Prino Francesco (Figura 2.8). Questo schema riassume circa il 95% dei possibili cicli di lavorazione svolti dall'azienda. La sua elaborazione è frutto di osservazioni sul campo, interviste al personale e analisi dei processi produttivi di prodotti quanto più diversi tra loro tecnologicamente (bollitori, caffettiere, barattoli, cestini e vassoi).

È importante sottolineare che in un diagramma di flusso le frecce non rappresentano necessariamente un flusso logistico.

In Figura 2.9 e Figura 2.10 si riporta la lettura sul diagramma di due cicli di lavorazione:

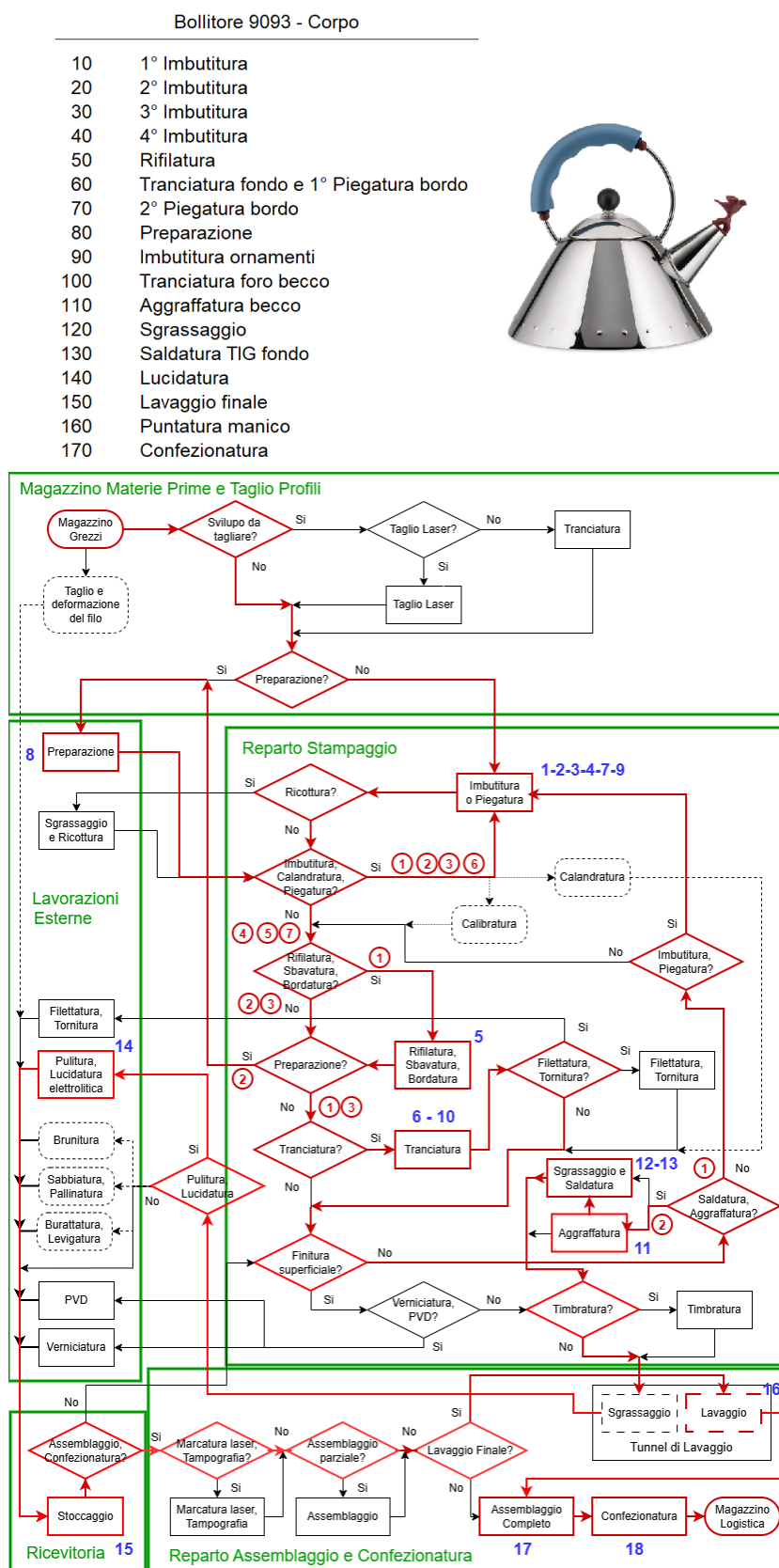


Figura 2.9 – Ciclo di Produzione e Flow chart del corpo del bollitore “9093”.

La Stanza dello Scirocco - Fruttiera

- 10 Taglio Sviluppo Laser
- 20 Preparazione
- 30 1° Piegatura
- 40 2° Piegatura
- 50 Timbratura
- 60 Sgrassaggio
- 70 Lucidatura
- 80 Confezionatura

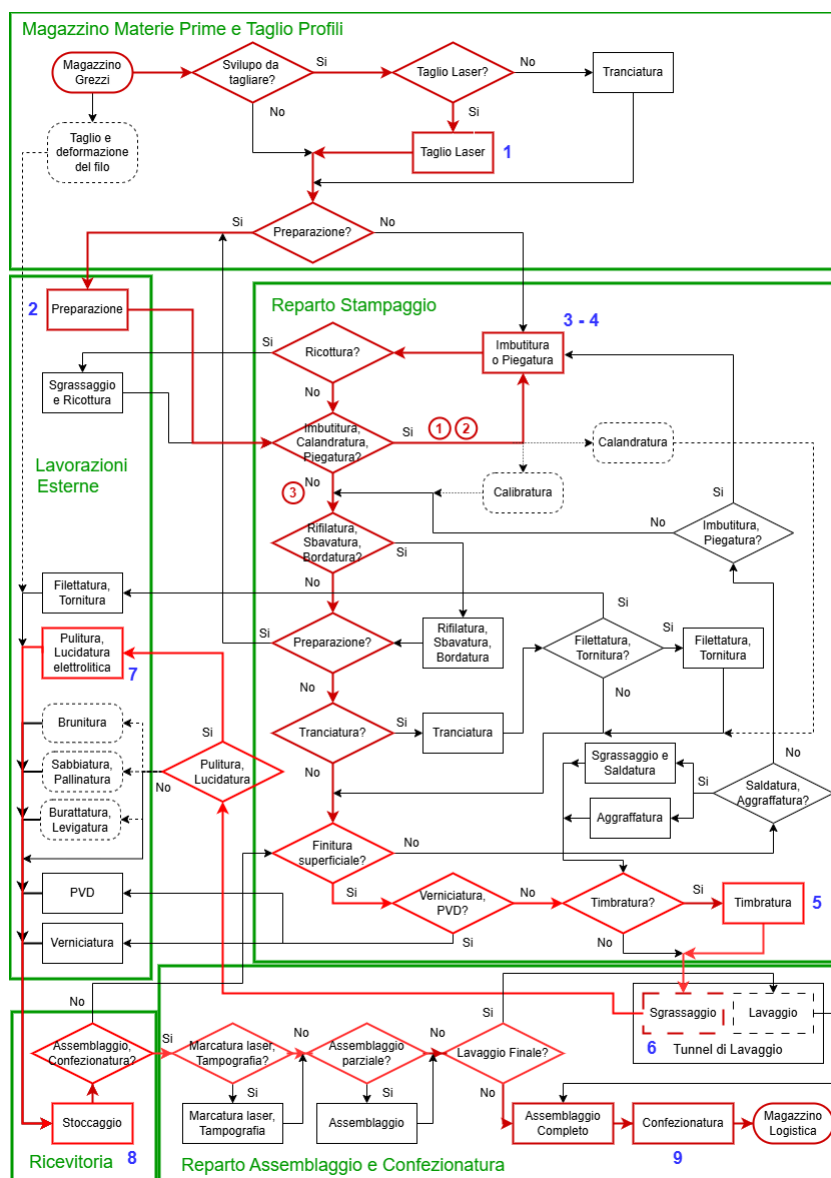


Figura 2.10 – Ciclo di Produzione e Flow chart del cestino “La stanza dello Scirocco”

Mentre i numeri nei cerchietti indicano quale risposta è stata data dal blocco ogni volta che è stato interpellato, i numeri blu indicano le effettive lavorazioni previste dal ciclo.

Da queste immagini si osserva che prodotti come cestini e vassoi seguono un percorso più lineare e con fasi di lavorazione che generalmente non si ripetono; al contrario, caffettiere e bollitori presentano flussi più complessi che includono cicli ripetuti di imbutitura e piegatura e operazioni come la ricottura e la saldatura.

2.4 Limiti e Opportunità di Automazione

L'obiettivo a breve termine dell'azienda, oltre a mantenere viva la produzione dei suoi articoli *best seller* e promuovere nuovi prodotti, è quello di cercare di ridurre il costo di produzione in Italia poiché risulterebbe già più conveniente la delocalizzazione in Asia.

Il presente capitolo ha fornito una panoramica dettagliata del sistema produttivo ALESSI, evidenziando come l'azienda coniughi la sua identità di casalinghi premium con una profonda conoscenza della lavorazione dell'acciaio inossidabile. Tuttavia, l'efficienza complessiva è minacciata da diversi fattori che ostacolano altresì le opportunità di automazione:

- **Layout di reparto non ottimale:** La disposizione attuale non segue una logica basata sui flussi produttivi, rendendo macchine successive distanti. Un rinnovamento del layout sarà preso in considerazione solo qualora lo studio presente dimostri miglioramenti tali da giustificare l'investimento.
- **Tempi di attrezzaggio:** La grande varietà di prodotti realizzati richiede frequenti attrezzaggi delle macchine con tempi piuttosto diversificati. Sebbene l'attuale ridondanza di macchinari permetta di operare in tempo mascherato, in un contesto automatizzato tale variabilità genererebbe scostanti fermi macchina; pertanto, la capacità del sistema di adattarsi rapidamente alla produzione di articoli diversi (flessibilità) è un parametro fondamentale e non negoziabile.
- **Incompatibilità tra gli stampi:** L'eterogeneità dimensionale degli stampi attuali e l'impossibilità di inserire quelli più piccoli su macchine più grandi, limitano la flessibilità. La standardizzazione di tali attrezzature richiede un'attenta analisi dei costi, ma è essenziale affinché si possa garantire la ripetibilità e il funzionamento senza interruzioni di un impianto automatico.
- **Dipendenza da lavorazioni esterne:** L'esternalizzazione di fasi intermedie (quali la ricottura o le lavorazioni di tornitura) interrompe il flusso produttivo e introduce tempi di attesa incontrollati, incrementano il lead time e dilatando il tempo di *payback* dell'investimento.
- **Tirature Basse:** L'elevata produttività automatica di lotti ridotti porterebbe alla saturazione precoce della domanda annuale, incrementando il costo unitario a causa del maggior impatto dei costi fissi.

Nonostante questi vincoli, l'adozione di macchinari automatici da parte di ALESSI rappresenta ancora un'opportunità per il reparto Stampaggio seguendo un approccio duale: da un lato la produzione continuativa e ad elevato ritmo degli articoli *best seller*, dall'altro lato la produzione flessibile dei lotti di quantità ridotte. In quest'ultimo scenario, l'implementazione di celle di lavoro robotizzate in linea con la filosofia della *Group Technology* porterebbe a una significativa riduzione dei tempi di attraversamento preservando la diversificazione dei prodotti e ad un aumento della capacità produttiva nei periodi di picco.

3 Valutazione di Diverse Opportunità di Automazione

Alla luce delle considerazioni precedenti, l'azienda ha orientato la propria strategia verso l'automazione prioritaria degli articoli *best seller*, ricercando tuttavia soluzioni tecnologiche caratterizzate da un'elevata flessibilità operativa. Il presente capitolo illustra il percorso di valutazione intrapreso: l'analisi dettagliata dei cicli produttivi, la presentazione di diverse proposte e lo studio di fattibilità economica.

3.1 Studio dei Cicli di Produzione dei Prodotti Best Seller

Per valutare il reale vantaggio nell'adozione dell'automazione, sono stati studiati i cicli di lavorazione dei 10 prodotti più venduti nel 2025. In Figura 3.1, si riportano due esempi.

9093 FM.2

Op.	Descrizione Operazione	eseguita in stampaggio?	tipo di macchina	carico n° trasporti (tons) interni
0010	1°IMBUTITURA	☒	pressa	250
0020	2°IMBUTITURA	☒	pressa	20
0030	3°IMBUTITURA	☒	pressa	20
0040	4°IMBUTITURA	☒	pressa	100
0050	RIFILATURA	☒	sbava	
0060	TRANC.FONDO/1°PIAG.BORDO	☒	trancia	80
0070	2°PIEGATURA BORDO	☒	pressa	20
0080	USCITA MERCI	☐		
0090	PREPARAZIONE/SGRASSAGGIO	☐		
0100	LUBR/IMBUTITURA ORNAMENTI	☒	pressa	63
0110	TRANCIATURA FORO BECCO	☒	trancia	80
0120	AGGRAFFATURA BECCO	☒	pressa	20
0130	SGRASSAGGIO	☐	tunnel	
0140	SALDATURA TIG FONDO	☒	salda	
0150	VERSAMENTO A MAGAZZINO	☐		

11

MSA04/21.2

Op.	Descrizione Operazione	eseguita in stampaggio?	tipo di macchina	carico n° trasporti (tons) interni
0010	LUBR/PULIZIA/IMBUTITURA	☒	trancia	80
0020	TRANCIA-FORI TRASCINAMENTO	☒	trancia	80
0030	USCITA MERCI	☐		
0040	PREPARAZIONE	☐		
0050	SGRASSAGGIO	☐	tunnel	
0060	TIMBRATURA	☒	trancia	80
0070	LUBR/1°TRANCIATURA ORNAMENTI	☒	trancia	140
0080	2°TRANCIATURA ORNAMENTI	☒	trancia	140
0090	RIFILATURA/SBAVATURA	☒	sbava	0
0100	SGRASSAGGIO	☐	tunnel	
0110	VERSAMENTO A MAGAZZINO	☐		

5

Figura 3.1 – Analisi dei Cicli di lavorazione del Corpo del bollitore 9093 (in alto) e del cestino Cactus! (in basso)

La colonna "eseguita in stampaggio?" distingue le attività svolte nel reparto produttivo da quelle gestite all'esterno dello stesso o presso fornitori terzi (in corsivo). Questa classificazione non solo localizza l'attività, ma permette di identificare quante operazioni consecutive possono essere svolte prima che il flusso produttivo si interrompa.

Al fine di identificare le posizioni dei macchinari coinvolti ed evidenziare le distanze tra le diverse fasi della sequenza produttiva, è stato prodotto lo *Spaghetti Chart* di ciascun processo.

Tale strumento permette di quantificare il numero di trasporti interni e le interruzioni del flusso attraverso il numero di coppie di frecce presenti nell'area dedicata al carico e scarico dei carrelli.

Il diagramma del corpo del bollitore 9093 (Figura 3.2) mostra un chiaro problema di dispersione: tra una lavorazione e l'altra (indicate con i numeri accanto ai centri di lavoro), il semilavorato viene spesso trasferito su un centro di lavoro lontano dal precedente.

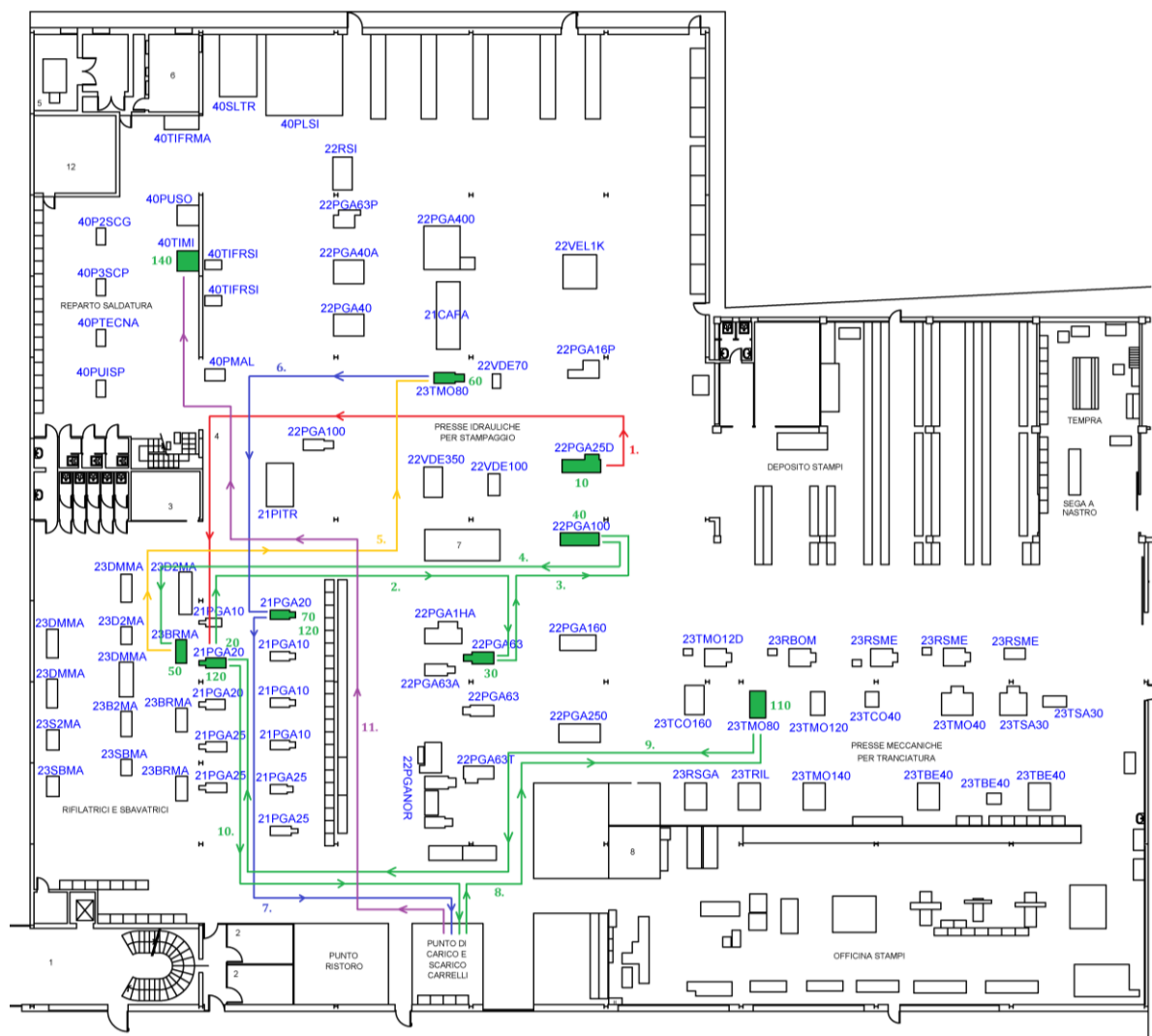


Figura 3.2 – Spaghetti Chart del corpo del bollitore 9093

Invece dal diagramma del becco del bollitore 9093 (Figura 3.3), si nota che le operazioni richiedono l'utilizzo ciclico dei medesimi macchinari, realizzando un flusso ripetitivo tra due soli reparti.

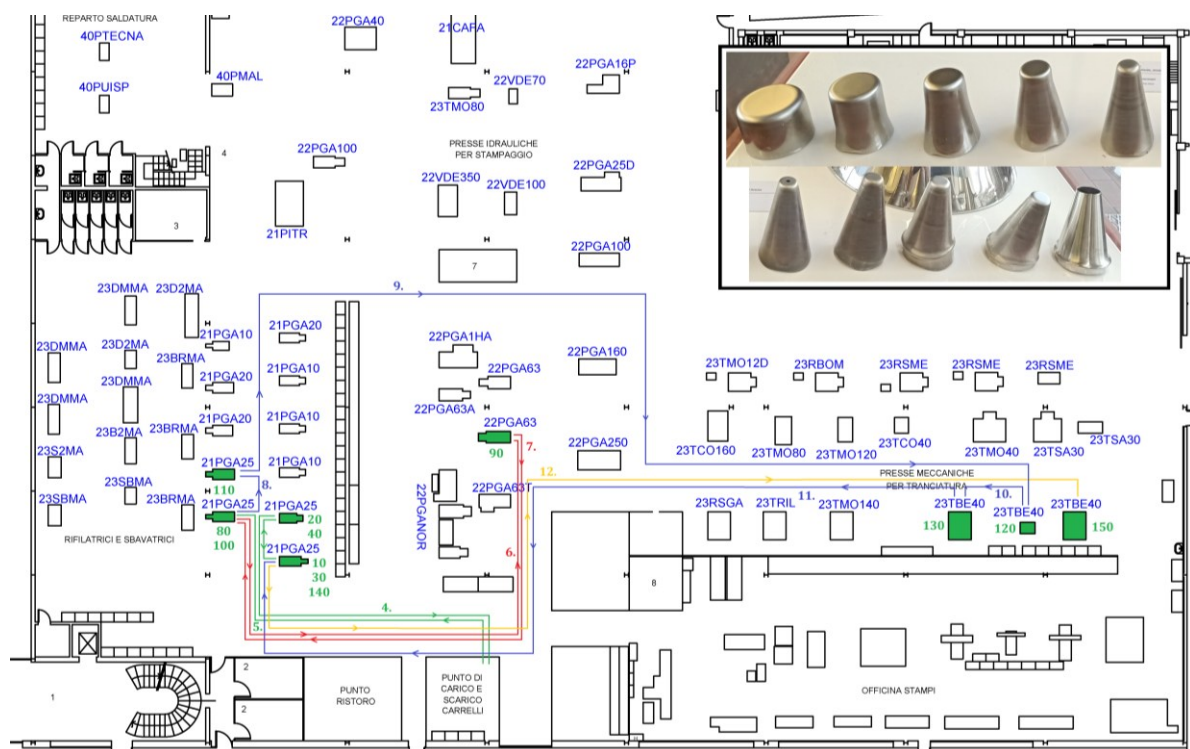


Figura 3.3 – Spaghetti Chart e ciclo di stampaggio del becco del bollitore 9093

Sebbene in questa fase dello studio non fosse necessario quantificare con precisione l'incidenza dei trasporti sul tempo di produzione, le mappe sono state utilizzate per ipotizzare nuovi layout del reparto e configurazioni automatiche dei processi che potessero accorpare diverse fasi in un'unica zona. Eliminando i tempi di trasporto e trasformandoli in tempo a valore aggiunto, il risultato sarebbe un flusso continuo tra postazioni adiacenti, incrementando la capacità produttiva. Inoltre, preservando l'integrità dei componenti da urti e danneggiamenti, si ridurrebbero gli scarti e le riparazioni a beneficio della resa complessiva dello stabilimento.

3.2 Le Soluzioni Progettuali Proposte

Sono state quindi interpellate due società di consulenza per la progettazione di un impianto automatizzato che fosse dedicato alla produzione principale di bollitori 9093 e di caffettiere 9090, ma che contemporaneamente potesse essere riconfigurato per la produzione anche di cestini e degli altri articoli *best seller* del catalogo.

Per definire i requisiti del progetto, sono stati forniti i cicli di lavorazione dei prodotti, le specifiche dimensionali dei semilavorati nelle diverse fasi e le caratteristiche tecnologiche della materia prima, nonché il volume del lotto minimo desiderato.

3.2.1 Linea Robotizzata per Stampaggio Imbutiti in Acciaio Inox

La prima proposta è stata presentata da “SHS Automation & Robotics” ed è costituita da una linea di quattro presse idrauliche asservite da robot antropomorfi (Figura 3.5).

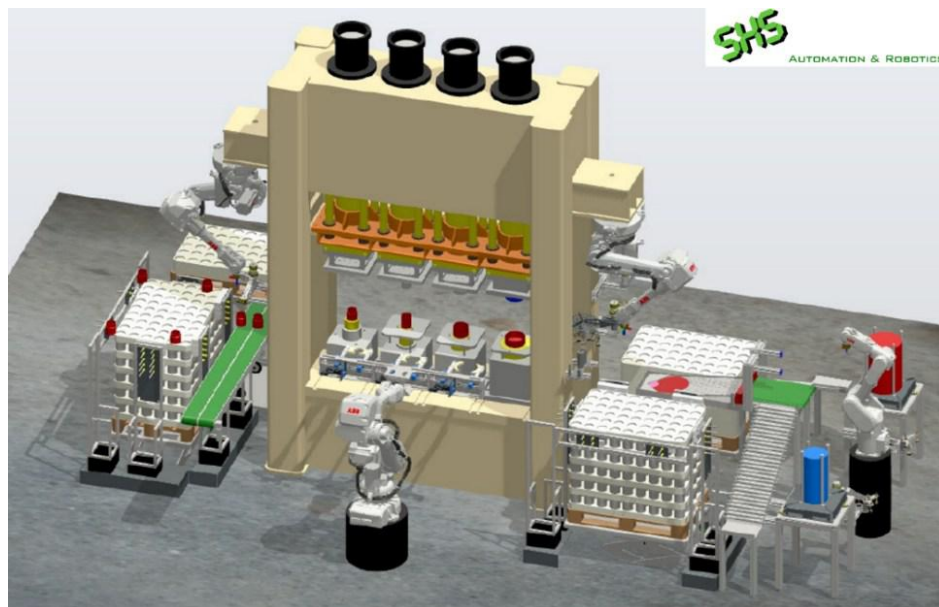


Figura 3.5 – Complessivo della Linea Robotizzata proposta da “SHS Automation & Robotics”

L'architettura della linea si sviluppa attorno alla struttura centrale a doppio montante, al cui interno sono collocate quattro presse idrauliche indipendenti, per consentire l'esecuzione sequenziale di quattro fasi dei cicli produttivi. Poiché normalmente la prima operazione di imbutitura è la più gravosa, la forza di stampaggio massima della prima pressa è di 800 kN (circa 80 tonnellate), mentre le successive operano a 600 kN. Questi valori, scelti in funzione dei cicli di lavoro forniti per lo studio, indicano il massimo carico che ogni macchina può applicare; ciò significa che all'occorrenza è possibile regolare il carico impartito agendo sulle elettrovalvole proporzionali di alimentazione dell'olio. Ogni stazione prevede una slitta superiore per l'alloggiamento dello stampo e un piano inferiore al di sotto del quale si trova il cilindro responsabile di fornire la contropressione al premilamiera.

Al massimo, i semilavorati possono avere un ingombro di 500 mm in larghezza e di 400 mm in altezza per poter consentire il trasferimento e il loro ingresso nella struttura.

L'asservimento è affidato all'area iniziale dell'impianto, la quale integra due diverse soluzioni di carico: dei dischi grezzi ① e dei semilavorati ②. (Figura 3.6)

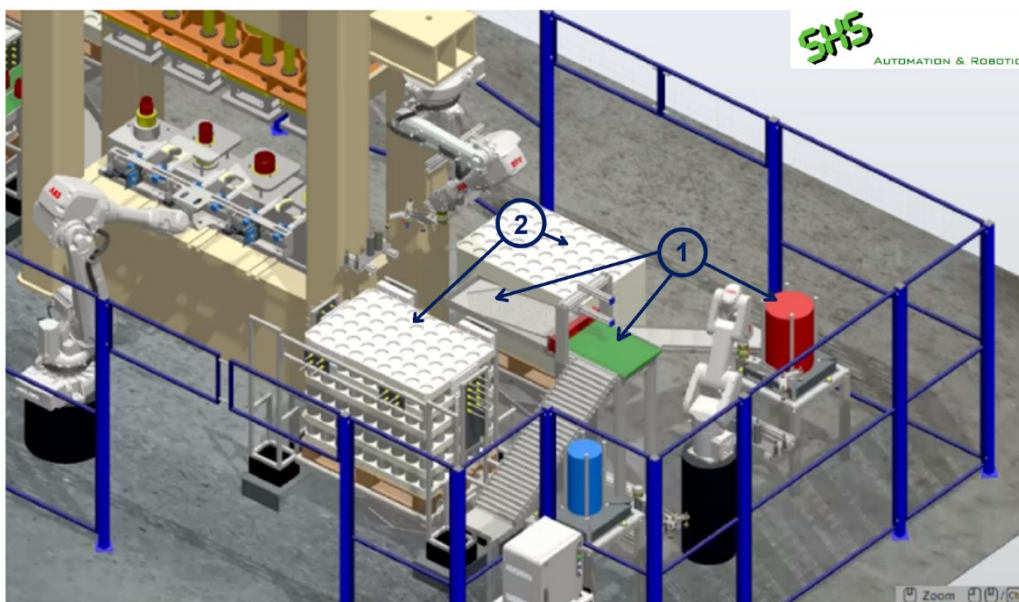


Figura 3.6 – Ingrandimento dell'impianto sulle soluzioni per il caricamento della materia prima

La prima soluzione prevede che il robot più esterno, dotato di opportune pinze *end effector*, effettui il prelievo dei dischi grezzi dalle colonne adiacenti e li depositi sul nastro trasportatore verde. Il sistema prevede un controllo di sicurezza anti-doppio prelievo: qualora l'effetto ventosa determini il sollevamento accidentale di due dischi, quello in eccesso verrebbe scartato sulle rulliere adiacenti. Le unità di stoccaggio sono regolabili per ospitare diametri variabili tra 100 e 350 mm. Sono presenti due postazioni di prelievo perché le pinze relative sono progettate per sollevare pesi del disco diversi. Una volta posizionato sul nastro, il disco attraversa un sistema di lubrificazione a rulli, in rosso, per essere poi posizionato nella prima pressa dal robot successivo.

La seconda soluzione prevede l'inserimento in macchina di semilavorati già lubrificati, stoccati in appositi blister. In questo caso, quando un'unità di carico si svuota, la tavola elevatrice provvede a riposizionare un nuovo set di componenti alla quota di lavoro del robot, mentre il telaio vuoto viene trasferito sulla rastrelliera opposta.

In entrambe le configurazioni è previsto l'intervento da parte dell'operatore per l'approvvigionamento della materia prima. Mentre la prima soluzione impone l'arresto del sistema per consentire l'accesso di un operatore per il ripristino dei dischi con i robot in posizione di sicurezza, la seconda trasla i pallet in prossimità delle protezioni perimetrali permettendo la sostituzione senza interrompere il ciclo produttivo.

Il trasferimento dei semilavorati lungo la sequenza delle stazioni è coordinato dal robot frontale ③ in Figura 3.7.

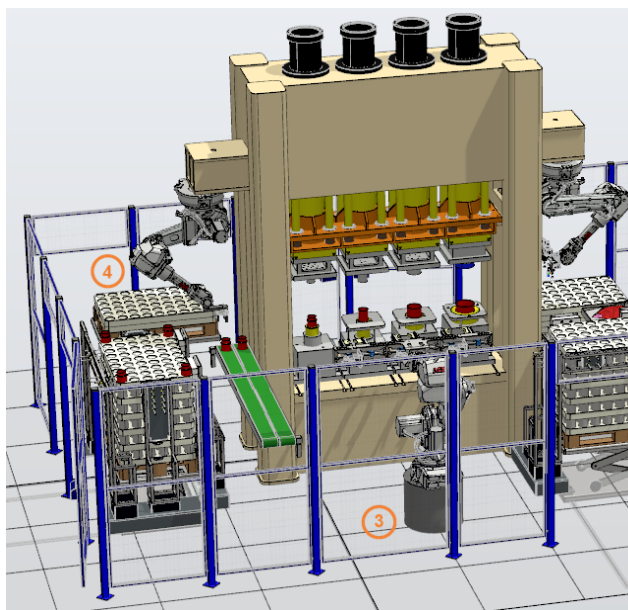


Figura 3.7 – Ingrandimento dell'impianto sulle unità produttiva e di stoccaggio

Quest'ultimo è equipaggiato con una traversa portautensili che ospita tre pinze *end effector* elettropneumatiche. Tale configurazione consente la manipolazione simultanea dei componenti e assicura il sincronismo delle fasi operative. Contestualmente, l'ultimo semilavorato viene prelevato dal robot ④ che esegue la pallettizzazione finale. Il valore aggiunto di questa zona, risiede nella possibilità di depositare un semilavorato sul nastro trasportatore per consentire l'esecuzione di ispezioni e controlli qualità fuori linea.

La capacità produttiva dichiarata è di 4-5 pezzi al minuto, ovvero 12-15 secondi per fase.

Il progetto richiede un investimento preventivo di 2.380.000 €, di cui le presse e la loro struttura ricoprono circa il 60%. Qualora la proposta fosse approvata, l'azienda consulente assicura l'avvio della produzione dopo 16 mesi.

3.2.2 Concept di Linee di Stampaggio Flessibili

La seconda proposta nasce dall'analisi di soluzioni di automazione già implementate dalla società di consulenza "SM System" presso altre aziende tecnologicamente simili ad ALESSI; esse hanno integrato i propri processi esistenti di stampaggio, rifilatura e piegatura con sistemi pneumatici e robotici controllati da un'unità di governo centrale.

Per applicare tale modello di efficienza al reparto Stampaggio, l'ufficio tecnico ha orientato il progetto verso una configurazione a linee parallele interconnesse, al fine di presentare alla Proprietà aziendale una soluzione tecnologicamente simile alla precedente, agevolando così una valutazione basata su evidenze economiche.

Per questa seconda ipotesi, si è optato per l'acquisto di presse nuove.

La soluzione illustrata in Figura 3.8 propone quindi lo sviluppo di due linee di fabbricazione flessibili, separate tra loro dalle operazioni esterne di sgrassaggio e ricottura.

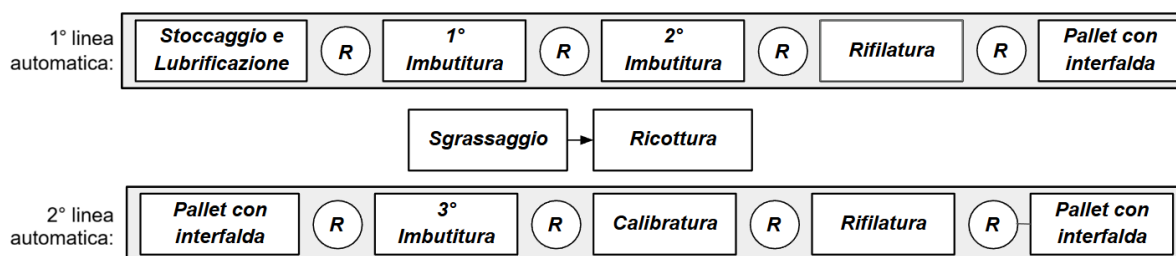


Figura 3.8 – Layout del progetto di “SM System”¹

Mentre è compito di ALESSI predisporre i macchinari, la società partner provvederà a:

- Installare le unità robotizzate per la movimentazione dei semilavorati tra le diverse fasi del processo (® in Figura 3.8);
- Implementare un sistema automatizzato per il caricamento e la lubrificazione;
- Sviluppare il software di controllo dell'intero impianto.

Il *takt time* dichiarato è di 13 secondi per fase, parametro che si traduce in una capacità produttiva di 4,5 pezzi al minuto.

Dal punto di vista economico, l'investimento complessivo ammonta a 1.121.700 €, dei quali circa il 45% è riconducibile all'acquisto dei robot. Al fine di operare un confronto corretto con la proposta precedente, si aggiunge a questa quota l'importo relativo all'acquisto dei nuovi macchinari (170.000 € cadauno), portando il totale complessivo a 1.631.700 €.

3.2.3 Analisi Critica delle soluzioni proposte

Analisi della proposta di “SHS Automation & Robotics”

La soluzione presentata da SHS si distingue per un alto livello di automazione e lo stato di progettazione avanzata, capace di garantire un *takt time* di 10-12 secondi ma strettamente dipendente dal mix delle lavorazioni scelte.

La sua versatilità nel prelievo dei dischi e dei semilavorati consente di gestire sia l'avvio di nuovi cicli produttivi, sia la lavorazione in ripresa di articoli già imbutiti.

Se da un lato l'architettura monolitica garantisce flusso continuo e una perfetta sincronizzazione tra le stazioni grazie all'assenza di buffer, dall'altro impone vincoli dimensionali alla lavorabilità dei pezzi.

L'impianto inoltre presenta limiti di flessibilità rispetto al catalogo ALESSI, dato che raramente i cicli produttivi prevedono quattro presse idrauliche in sequenza: da un lato gli articoli *best seller* sono prodotti attraverso più di quattro operazioni di imbutitura (gestibili con un secondo passaggio in macchina), dall'altro, la maggior parte dei prodotti necessita di più operazioni di tranciatura e finitura del bordo piuttosto che di stampaggio. In questo contesto, l'incapacità del sistema idraulico di emulare il rilascio istantaneo di energia delle presse meccaniche rischia di

¹ L'operazione di calibratura consiste nello schiacciamento del semilavorato per garantire le tolleranze dimensionali. Dato che non necessita di forze elevate, può essere agevolmente eseguita da una pressa idraulica di piccolo tonnellaggio o da una postazione pneumatica.

compromettere la precisione del taglio, causando inefficienze e sottosfruttamento dell'impianto.

Analisi della proposta di “SM System”

La soluzione di SM System risulta completa sotto il profilo della catena del valore, includendo non solo operazioni di stampaggio ma anche fasi di rifilatura e calibratura. Sebbene il *takt time* dichiarato di 13 secondi sia paragonabile a quello attuale, la natura modulare dell'impianto offre diversi vantaggi strategici:

- **Flessibilità e Lean Manufacturing:** previa opportuna programmazione dei robot, la possibilità di alimentare le linee a partire da qualsiasi postazione intermedia e di gestire il flusso in ordine inverso, facilitano le riprese di lavorazione rendendo l'area di lavoro capace di lavorare molteplici cicli di lavoro diversi.
- **Resilienza del Flusso Produttivo:** il disaccoppiamento tra le due parti impedisce che un malfunzionamento isolato provochi il fermo totale dell'impianto: in caso di avaria o durante l'approvvigionamento che richiede l'arresto temporaneo di un'unità, l'altra può continuare a operare attingendo dal buffer intermedio.
- **Integrazione su Processi Esistenti:** SM System non impone nuovi vincoli dimensionali e garantisce l'utilizzo dei sistemi di raccolta sfridi già presenti.

Di contro, la produzione di articoli che richiedono più di quattro fasi di imbutitura costringe a processare i lotti in ripresa, coinvolgendo però solo una parte delle stazioni e lasciando la restante frazione dell'impianto improduttiva. Il sistema così presentato inoltre, non permette nativamente l'alimentazione con semilavorati senza un'adeguata riprogrammazione del controllo.

Considerazioni Trasversali

Sotto il profilo economico, la proposta di SHS richiede un investimento complessivo quasi doppio (2,38 M€) rispetto a quella di SM System (circa 1,33 M€). Tale differenza è giustificata dal carattere "chiavi in mano" di SHS, che tuttavia comporta tempi di installazione più lunghi. SM System invece garantisce tempi di implementazione più contenuti e un rischio d'investimento minore: la sua modularità, infatti, permette di poter riutilizzare le unità robotiche qualora mutassero le esigenze del mix produttivo.

Un fattore non trascurabile è il grado di sicurezza tecnologica: SM System agisce su processi già consolidati e la sua efficacia può essere verificata presso altre realtà industriali analoghe ad ALESSI. Al contrario, SHS impone un complesso adattamento delle presse fornite e dei sistemi di raccolta degli sfridi, con correlati costi di ingegnerizzazione e rischi legati alla precisione dei processi.

Si sottolinea che la configurazione di SM System richiede una sorveglianza più distribuita rispetto alla singola linea, aumentando il numero di operatori necessari.

Infine, entrambe le proposte condividono alcuni limiti operativi che meritano una precisazione:

- **Standardizzazione:** In entrambi i casi, è richiesta la standardizzazione degli stampi e la realizzazione di *end effector* specifici per i prodotti manipolati;
- **Lubrificazione:** sebbene nessuna soluzione preveda il ripristino del lubrificante tra una fase e l'altra, entrambe permettono l'integrazione di ugelli dedicati;
- **Saldatura:** le operazioni di saldatura rimangono escluse dall'automazione, in quanto sono solitamente isolate e a valle dei cicli produttivi.

In sintesi, mentre SHS appare come una soluzione ad altissima efficienza ma rigida, SM System si presenta come un'infrastruttura flessibile capace di assorbire meglio l'eterogeneità del catalogo ALESSI.

3.2.4 Proposte di Scenari Alternativi

In seguito ad un confronto con il responsabile del reparto stampaggio, è emerso come l'attuale produzione possa essere gestita senza l'intervento massivo dell'automazione. Dunque, sulla base dei miei studi accademici, propongo due scenari alternativi (non valutati economicamente) che mirano all'efficientamento delle attrezzature, della logistica e della gestione del personale.

- **Automazione dell'Asservimento Presse:** L'utilizzo di un robot collaborativo (cobot) a servizio di un gruppo di 4 o 6 presse permette di realizzare un'isola produttiva in cui il carico, scarico e avvio delle macchine sono completamente automatizzati, mentre consente all'operatore di intervenire in totale sicurezza per la supervisione, l'approvvigionamento della materia prima e il controllo qualità sui pallet in ogni momento della produzione.
- **Efficientamento delle Bordatrici:** Considerato l'avanzato stato di usura delle macchine dedicate alla finitura dei bordi, lo sviluppo di nuove celle automatiche in tal senso permetterebbe di gestire con maggiore efficienza gli articoli che richiedono diverse lavorazioni consecutive di questo tipo, ottimizzando fasi del ciclo attualmente frammentate.

4 Analisi di Fattibilità Economica per l'impianto di "SHS Automation & Robotics"

La scelta di condurre un'analisi economica dettagliata sulla proposta di "SHS Automation & Robotics" è coerente con la volontà dell'ufficio tecnico di investigare il potenziale di un modello produttivo basato su linee parallele ad alta cadenza. Essendo stata la prima proposta a pervenire in azienda, essa ha costituito il termine di paragone tecnologico ed economico (*benchmark*) necessario per valutare la sostenibilità di soluzioni alternative come quella di SM System. In questo capitolo, si esegue un'approfondita analisi della capacità produttiva presente e futura contestuale alla presenza del nuovo impianto automatico: l'obiettivo è quello di **valutare se il risparmio economico di manodopera sia sufficiente a coprire la quota di ammortamento annuale dell'investimento**.

4.1 Prima Filtrazione dei Dati e Metodologia di Analisi

L'analisi è stata condotta su un database (Figura 4.1) fornito dal reparto produttivo, delle ore standard impiegate (Z_CONF_TEMPO) e delle quantità prodotte da ogni centro di lavoro, specificando l'operazione eseguita e per quale articolo, nel periodo novembre 2024 - ottobre 2025.

Materiale	Articolo	C. lav.	Op.	Operazione testo breve	Quantità	Unità	ZCONF-TEMPO	ZCONF-TEMPO
502.2	502	23TSA30	0050	TIMBRATURA	3993	PZ	7,55	H
502.2	502	23TMO80	0060	IMBUTITURA	3992	PZ	10,60	H
502.2	502	21PGA10	0070	PIEGATURA	3992	PZ	8,73	H
505.2	505	23TSA30	0020	TIMBRATURA/IMBUT.ORNAM.	1584	PZ	4,22	H
505.2	505	23TSA30	0020	TIMBRATURA/IMBUT.ORNAM.	1584	PZ	4,75	H
505.2	505	22VDE70	0030	IMBUTITURA BORDO	1690	PZ	9,87	H
505.2	505	22VDE70	0030	IMBUTITURA BORDO	1569	PZ	6,70	H

Figura 4.1 – Estratto del database fornito

Partendo da un campione di **15.286** ore totali, il primo passo metodologico è stato quello di valutare quali operazioni fossero tecnologicamente eseguibili dal macchinario automatico. Attraverso il confronto con il fornitore, l'ufficio tecnico e il reparto stampaggio sono state incluse nel monte ore rilevante la maggior parte delle lavorazioni attualmente eseguite su presse idrauliche, meccaniche e le piegature. Sono state escluse le operazioni di finitura dei bordi, le saldature e le calibrature. Rimangono quindi 8.695 ore, corrispondenti a circa il 57% del totale.

È importante sottolineare che il ritmo del macchinario a regime di 4-5 pezzi al minuto considera lo svolgimento simultaneo di 4 lavorazioni; poiché nel database i tempi sono riportati singolarmente per ogni operazione, esso dev'essere assegnato al gruppo di operazioni che si prevede vengano eseguite contestualmente in automatico. Per cui, ad ogni riga di ciascun gruppo viene assegnato un tempo unitario pari a:

$$t_{unitario} (s/pcs) = \frac{takt\ time}{n^{\circ}ro\ operazioni\ accorpate} \quad (4.1)$$

L'equazione precedente considera il *takt time* più basso (4 pezzi al minuto $\Rightarrow$ un pezzo ogni 15 secondi) al fine di condurre l'analisi secondo l'approccio più cautelativo e ipotizza di attivare anche un numero inferiore a quattro presse.

Si calcola poi il tempo necessario per lavorare la quantità registrata come:

$$tempo\ (h) = \frac{tempo\ unitario\ (s)}{3600} \cdot quantità\ prodotta \quad (4.2)$$

La differenza di quest'ultimo con le ore impiegate per l'esecuzione manuale rappresenta il risparmio di tempo generato dall'automazione.

4.2 Tempi di Attrezzaggio

Poiché è necessario un fermo produzione per il setup dell'impianto, è importante includere questo tempo nel calcolo delle ore risparmiate: in accordo con gli attrezzisti, sono stati considerati 15 minuti per la preparazione di ogni macchina coinvolta nel *cluster* di operazioni automatiche.

4.3 Affinamento dell'Analisi

Al fine di ottenere un risultato più accurato, sono stati poi applicati due criteri di esclusione:

1. **Compatibilità del Diametro:** Sono stati esclusi dal monte ore rilevante gli articoli il cui diametro iniziale non rientra nel range previsto dal progetto. La scelta di eliminare l'intero articolo, e non solo la prima operazione, è dettata dalla correlazione diretta tra il diametro iniziale del disco e il carico delle presse che si realizza nei rapporti di imbutitura;
2. **Efficienza:** sono stati esclusi dal monte ore rilevante gli articoli per cui il tempo automatico risultava maggiore del tempo manuale, significando la maggiore convenienza nel mantenimento del processo attuale. Questi dati saranno poi recuperati nel capitolo 4.4.3 attraverso un ulteriore affinamento.

In seguito a questi filtri, le ore automatizzabili rimaste sono **6.196**, ovvero il 40%.

La Figura 4.2 riporta un estratto di quanto è stato eseguito:

Materiale	Articolo	C. lav.	Op.	Operazione testo breve	Filtri		
					Automation	D	Eff/Ineff
111/5.2	111/5	21PGA25	0020	2°IMBUTITURA	SI	KO	OK
111/5.2	111/5	21PGA25	0030	LUBRIF/1°IMBUTITURA	SI	KO	OK
111/5.2	111/5	23DMMA	0040	RIFILATURA/SBAVATURA	NO	OK	OK
111/5.2	111/5	23TSA30	0080	1°TIMBRATURA (CL)	SI	KO	OK
111/5.2	111/5	21PGA25	0090	LUBRIF/1°IMBUTITURA	SI	KO	OK
111/5.2	111/5	23TSA30	0100	LUBR/IMBUTITURA BECCO	SI	KO	OK
111/5.2	111/5	23TSA30	0110	2°TIMBRATURA (ALESSI)	SI	KO	OK
1200256.ACC	1200013RIC	23TCO40	0010	TRANCIATURA FORO/1°PIEGATURA BORDO	SI	OK	OK
1200256.ACC	1200013RIC	21PGA10	0020	2°PIEGATURA BORDO	SI	OK	OK
1200256.ACC	1200013RIC	21PGA10	0030	CHIUSURA BORDO	NO	OK	OK
1200256.ACC	1200013RIC	23TSA30	0040	AGGRAFFATURA OCCHIELLO	NO	OK	OK

Figura 4.2A – Estratto del database - Articoli, centri di lavoro, operazioni e filtri

Automazione							Manuale		
t. attrezz.	sec/pcs	tempo (h)	tempo risp.	Totale Risp	check D		Quantità ottenuta	Unità	ZCONF-TEMPO_V
0,00	7,50	3,25	0,03	6,80	1		1560 PZ		3,28 H
0,00	7,50	3,27	1,88	6,80	1		1568 PZ		5,15 H
			0,00	6,80	0		1560 PZ		7,950 H
0,00	3,75	0,99	0,53	6,80	1		950 PZ		1,52 H
0,00	3,75	0,98	1,90	6,80	1		945 PZ		2,88 H
0,00	3,75	0,12	0,20	6,80	1		116 PZ		0,32 H
1,00	3,75	0,99	-0,42	6,80	1		950 PZ		1,57 H
0,00	7,50	2,38	0,19	-0,24	0		1143 PZ		2,57 H
0,50	7,50	2,38	-0,43	-0,24	0		1143 PZ		2,45 H
			0,00	-0,24	0		1143 PZ		1,720 H
			0,00	-0,24	0		1139 PZ		4,700 H

Figura 4.2B – Estratto del database - Calcoli automazione e dati manuali

4.4 Calcolo del Risparmio Economico

La valutazione economica dell'investimento è stata sviluppata in tre fasi successive:

1. **Valutazione preliminare della configurazione a 4 presse:** analisi dei dati disponibili per quantificare il risparmio di manodopera e il relativo costo, in relazione alla quota di ammortamento prevista;
2. **Valutazione di configurazione a 3 presse:** dato il frequente impiego tre stazioni di imbutitura, l'analisi è stata ripetuta ipotizzando la rimozione di una pressa. Questa disposizione mira a ridurre la quota di ammortamento annua, per verificare se il minor investimento iniziale possa essere ripagato più rapidamente;
3. **Recupero delle ore inefficienti nella configurazione a 4 presse:** analisi puntuale dei tempi ciclo e processo di affinamento dei parametri operativi, finalizzati a massimizzare il risparmio orario della soluzione a 4 presse e a rendere economicamente sostenibile l'investimento.

4.4.1 Valutazione Preliminare di Configurazione a 4 Presse

I risultati ottenuti dal database sono stati riassunti in una tabella pivot organizzata per articolo (Figura 4.3).

Automation	SI	☐	Dashboard ore risparmiate con 4 Presse
Eff/Ineff	OK	☐	Top10 Pareto 2025
D	OK	☐	

Etichette di riga	Somma di ZCONF-TEMPO_V	Somma di tempo (h)	Somma di t. attrezz.	Somma di tempo risp.
⊕ 370	15	9	1,00	5
⊕ 502	27	17	0,75	9
⊕ 505	26	13	0,50	12
⊕ 5052	79	11	1,50	67
⊕ 5055	19	9	1,25	9
⊕ 5070	30	13	1,25	16
⊕ 9093	389	205	2,00	182
⊕ 9090/3	201	117	5,25	79
⊕ 9090/6	166	108	5,00	53
Totale complessivo	6.196	2.814	135,00	3.247

Figura 4.3 – Estratto della tabella pivot relativa ai risultati ottenuti

Le 6.196 ore manuali sono state automatizzate riducendosi a **2.814**. Considerando **135** ore di attrezzaggio, si risparmiano quindi **3.247 ore**.

Il risparmio economico di un impianto automatico si quantifica attraverso il numero di *Equivalenti a Tempo Pieno (FTE)* risparmiati. L'FTE rappresenta il carico di lavoro, standardizzato al numero di dipendenti assunti a tempo pieno; di conseguenza corrisponde al numero di impiegati solo se tutti i dipendenti lavorano full-time. Si calcola come:

$$FTE = \frac{\text{Ore lavorate effettive}}{\text{Ore standard annuali}} \quad (4.3)$$

In ALESSI, le ore lavorative standard annuali sono 1505, corrispondenti a 188 giorni.

La *manodopera* poi può essere classificata come *Diretta* o *Indiretta*: della prima fanno parte gli addetti all'operatività del reparto, mentre la seconda è costituita dal personale dedicato all'attrezzaggio e al setup.

Per la nostra analisi (Figura 4.4) si ha che:

- 6.196 ore manualmente corrispondono all'impiego di 4,12 FTE dirette e 1,5 indirette;
- 2.814 ore in automatico necessitano dell'impiego delle sole 1,5 FTE indirette;
- Il risparmio è quindi di 4,12 FTE dirette.

Il **risparmio** di costo del lavoro è:

$$\text{Costo FTE risp. (€)} = FTE \text{ risp.} \cdot \text{ore standard annuali} \cdot \text{costo orario del lavoro} \quad (4.4)$$

e si attesta a circa **192.000 €**.

Essendo inferiore alla quota di ammortamento decennale (*PBT*) stimata a circa 238.000 €, **l'investimento non risulta ripagabile**, con una differenza Δ di 45.914 €.

Resoconto Ore		
Manuali iniziali	15.286 ore	
Automatizzabili	6.196 ore	
Automatico	2.814 ore	
Risparmiate	3.247 ore	
Resoconto FTE		
	As Is	To Be
DIRETTI	4,12	
INDIRETTI	1,50	1,50
Totale	5,62	1,50
FTE risparmiate		
	4,12	
costo FTE risp.	192.086 €	
Target		
Costo	2.380.000 €	
Ammortamento	238.000 €	
Anni	10	

Figura 4.4 – Calcolo delle FTE e del loro costo risparmiato

4.4.2 Valutazione Alternativa di Configurazione a 3 Presse

Ripetendo l'assegnazione dei tempi unitari considerando cluster di tre operazioni, si osserva che questa configurazione impiega più tempo per svolgere lo stesso numero di ore automatizzabili; ciò accade perché la produttività nominale è rimasta invariata. Parallelamente, il costo dell'investimento si riduce di 350.000€ a fronte di una stazione in meno, comportando una diminuzione della quota di ammortamento annuale. Di conseguenza, il disavanzo economico dell'impianto si riduce a 10.914 € (Figura 4.5).

Resoconto Ore		
Manuali iniziali	15.286 ore	
Automatizzabili	6.196 ore	
Automatico	2.986 ore	
Risparmiate	3.075 ore	
Resoconto FTE		
	As Is	To Be
DIRETTI	4,12	
INDIRETTI	1,50	1,50
Totale	5,62	1,50
FTE risparmiate		
	4,12	
costo FTE risp.	192.086 €	
Target		
Costo	2.030.000 €	
Ammortamento	203.000 €	
Anni	10	

Figura 4.5 – Calcolo del risparmio economico su macchinario a 3 presse

4.4.3 Recupero delle Ore Inefficienti nella Configurazione a 4 Presse

La Figura 4.6 riassume la distribuzione delle ore manuali, suddivise in base ai criteri di filtraggio applicati al sistema a quattro presse:

- Ore manuali totali: 15.286;
- Ore dedicate ad operazioni non automatizzabili: 6.591;
- Ore dedicate ad operazioni automatizzabili: 8.695;
- Ore dedicate ad articoli con diametro gestibile: 8.332;
- Ore dedicate ad operazioni automatizzabili, gestibili ed efficienti: 6.196;
- Ore dedicate ad operazioni automatizzabili, gestibili ma inefficienti: **2.136**.

Automation D	Eff/Ineff		Totale complessivo
	KO	OK	
SI	2.136	6.559	8.695
KO		363	363
OK	2.136	6.196	8.332
NO	860	5731	6591
Totale complessivo	2.996	12.290	15.286

Figura 4.6 – Resoconto delle ore manuali automatizzate

In seguito ad un confronto tecnico con l'azienda consulente, volto a validare le metodologie di analisi adottate, è emerso che il *takt time* utilizzato non riflette globalmente l'eterogeneità dei processi, dato che le operazioni eseguite sulle presse meccaniche e le piegature richiedono tempi di esecuzione inferiori rispetto alle imbutiture. È stato pertanto proposto un modello di calcolo del tempo unitario che tiene conto di una velocità media (v_m) e della corsa dell'operazione. Nel caso di presse meccaniche, tale ampiezza è stata definita a 70 mm (h_m) comprensiva di extracorsa, in accordo con le indicazioni fornite dal reparto produttivo; nel caso di presse idrauliche, è stata invece impostata a due volte l'altezza dell'imbutito (h) per includere sia la profondità di lavorazione, sia un'extracorsa che possa garantire l'estrazione.

- Pressa meccanica:

$$t_{unitario} = \left(\frac{2 \cdot h_m}{v_m} + \frac{t_{transfer}}{n^{\circ} op. accorpate} \right) \cdot f_c \quad (4.5)$$

- Pressa idraulica:

$$t_{unitario} = \left(\frac{4 \cdot h}{v_m} + \frac{t_{transfer}}{n^{\circ} op. accorpate} \right) \cdot f_c \quad (4.6)$$

Le formule 3.5 e 3.6 includono anche il tempo di trasferimento e un fattore correttivo f_c , parametrizzati rispettivamente a 6 secondi e 1,05. A ciascun gruppo di operazioni eseguite dall'impianto dev'essere poi assegnato il tempo massimo riscontrato in quel gruppo.

Durante l'indagine di raccolta delle altezze di imbutitura, è emerso che alcune operazioni sono eseguite su semilavorati dimensionalmente troppo ridotti per essere gestiti dal robot di

trasferimento e pertanto sono state riclassificate come “non automatizzabili”, riducendo il monte ore utile e il profitto derivante dall'automazione.

Applicando questa revisione agli articoli prodotti in quantità superiore ai mille pezzi, le **ore residue inefficienti** sono **66**, mentre il **delta** tra costo e risparmio si attesta a **24.412 €**. Nonostante questa operazione di conversione sia stata consistente sul monte ore, il guadagno orario ha influenzato in maniera ridotta il risparmio economico totale. Mentre il primo valore è considerato accettabile, il secondo no.

La validità di questo risultato è superiore a quello presentato in Figura 4.4 perché è stato ottenuto utilizzando tempi operativi realistici, invece di imporre la media di 15 secondi per ogni gruppo di operazioni.

Ricalcolo dei Tempi Unitari dei 15 Articoli più prodotti

Si è proceduto quindi ad estendere l'analisi ai 15 articoli che hanno richiesto il maggior numero di ore lavorative al reparto (56% delle ore automatizzabili). Sono stati considerati non solo i prodotti a catalogo, ma anche gli articoli realizzati per il *B2B*, in quanto rappresentano una produzione ricorrente e ad elevata tiratura.

I risultati prodotti in questa fase quantificano circa **400 ore** come **inefficienti** (Figura 4.7), e un **importo mancante** per il completo ammortamento dell'investimento di circa **15.000 €**.

Automation D	Eff/Ineff		Totale complessivo
	KO	OK	
SI	398	7.663	8.060
KO		471	471
OK	398	7.191	7.589
NO	113	7.113	7.226
Totale complessivo	510	14.776	15.286

Figura 4.7 – Resoconto delle ore manuali automatizzate, dopo affinamento dei tempi

Fine Tuning dei Parametri

In ultima istanza, si è deciso di eseguire l'affinamento delle variabili adottate. Cambiando iterativamente tali valori, si è osservato che l'aumento di produttività da 4 a 5 pezzi al minuto incide in modo significativo sul quantitativo di ore inefficienti, mentre i parametri utilizzati nella caratterizzazione dei tempi unitari impattano maggiormente sul risparmio di costo del personale.

Il set di valori ottimali, riportato in Figura 4.8, ha permesso di ottenere un numero accettabile di **ore inefficienti (43)** e una **differenza** tra il costo risparmiato e il costo di ammortamento di soli **4.000€** (Figura 4.9), quota considerata recuperabile in fase di negoziazione della proposta di investimento.

Takt Time	5	pcs/min	param x ineff:	velocità	80	mm/s
	12	sec/pcs		t. transfer	5	s
				fc	1.05	-

Figura 4.8 – Parametri ottimali ottenuti dal processo di Fine Tuning

Resoconto Ore

Manuali iniziali	15.286 ore	
Automatizzabili	7.546 ore	delta investimento
Automatico	2.947 ore	4.081 €
Risparmiate	4.420 ore	

Resoconto FTE

	As Is	To Be
DIRETTI	5,01	
INDIRETTI	1,50	1,50
Totale	6,51	1,50

FTE risparmiate

	5,01
costo FTE risp.	233.919 €

Target

Costo	2.380.000 €
Ammortamento	238.000 €
Anni	10

Automation D	Eff/Ineff		Totale complessivo
	KO	OK	
SI	43	8.017	8.060
KO		471	471
OK	43	7.546	7.589
NO	113	7.113	7.226
Totale complessivo	156	15.130	15.286

ore annue
1505

Figura 4.9 – Risultati dell'analisi puntuale

4.5 Considerazioni

In conclusione, l'analisi economica condotta dimostra che, sulla base delle assunzioni effettuate sui processi produttivi e sull'affinamento dei parametri operativi, l'investimento nell'impianto SHS risulta ripagabile nell'arco dei dieci anni previsti. Tale risultato ha permesso all'ufficio tecnico di instaurare un confronto costruttivo con il fornitore per l'ottimizzazione economica della proposta, il quale ha validato la metodologia di analisi adottata definendo il termine di paragone per la valutazione di proposte di automazione alternative.

5 Progetto Evoluzione Fabbrica

L'obiettivo di questo capitolo è definire un *Master Plan*² per l'introduzione graduale dell'automazione nel reparto stampaggio. Concepito come una visione di lungo periodo, il progetto si fonda su tre pilastri fondamentali:

- **Garantire la continuità operativa;**
- **Minimizzare l'investimento necessario** per adeguare le macchine più datate alle certificazioni volontarie ISO;
- **Sviluppare una soluzione scalabile** che non penalizzi le performance produttive durante la transizione.

In particolare, si prevede di dismettere i macchinari non certificati e trasferire le loro lavorazioni sugli asset esistenti, aumentando così la saturazione della capacità produttiva e liberando spazio fisico necessario all'introduzione dei nuovi sistemi automatici. Il risultato è una planimetria dinamica che illustra il processo evolutivo secondo tre fasi:

- **Analisi dello Stato Attuale dei Centri di lavoro:** Valutazione degli indici di saturazione e della conformità rispetto alla Direttiva Macchine;
- **Fase 1: Razionalizzazione del parco macchine e Linea Automatica Pilota:** Adeguamento dei centri di lavoro utili alla produzione e dismissione di quelli non certificati. Contestualmente, viene progettata e introdotta nel reparto una linea automatizzata dedicata alla produzione dei becchi per i bollitori "9093", finalizzata al training del personale alla valutazione dell'impatto sulla produzione attuale;
- **Fase 2: Transizione verso un Reparto Automatico:** Ricollocazione di alcuni impianti per predisporre un'area destinata alla creazione in un momento successivo di un'isola automatica flessibile per la produzione primaria degli articoli *best seller*. L'integrazione prevederà l'installazione di robot di asservimento, nastri trasportatori e aree di stoccaggio ("Supermercati") per l'ottimizzazione dei flussi logistici di prossimità.

5.1 Stato Attuale dei Centri di Lavoro

Sebbene il parco macchine sia conforme ai requisiti di sicurezza imposti dal D.Lgs. 81/2008, l'identità di ALESSI come B-Corp e l'imminente evoluzione della Direttiva Macchine impongono l'adeguamento di tutti gli impianti alla Certificazione CE. Data l'entità degli investimenti necessari, inizialmente sono state identificate le unità prive di tale requisito rimandando la decisione circa la loro dismissione o il *revamping* agli step successivi.

Si è proceduto poi a valutare il grado di saturazione dei vari asset: a partire dal database utilizzato nelle analisi precedenti, è stata creata una tabella pivot in cui le ore manuali sono organizzate per centro di lavoro. In questa fase, non è più necessario tenere in considerazione

² In ambito ingegneristico, il *Master Plan* è il documento strategico di orientamento che descrive l'evoluzione di un'area produttiva nel lungo periodo.

i filtri applicati per l'impianto di SHS perché vengono a mancare i presupposti che ne hanno giustificato l'introduzione:

- **Automation:** i nuovi sistemi potranno integrare anche operazioni precedentemente classificate come "non automatizzabili";
- **Diametro:** l'assenza della struttura monolitica elimina i vincoli di ingombro;
- **Efficienza:** originariamente concepito come vantaggio temporale derivante dall'automazione, tale concetto viene ridefinito dal calcolo del *takt time*.

Dividendo il tempo di lavoro manuale per il numero di ore disponibili in un anno, che sono 1760, si ottiene la percentuale di saturazione di ogni postazione (Figura 5.1).

Centro di Lavoro	Ore Manuali	% su 1760h	Centro di Lavoro	Ore Manuali	% su 1760h	Centro di Lavoro	Ore Manuali	% su 1760h
21PGA10	1180	67%	22VDE100	149	8%	23TMO80	548	31%
21PGA20	760	43%	22VDE350	233	13%	23TRIL	103	6%
21PGA25	631	36%	22VDE70	69	4%	23TSA30	539	31%
21PITR	185	11%	22VEL1K	84	5%	40P2SCG	232	13%
22CAFA	29	2%	23B2MA	374	21%	40P3SCP	338	19%
22PGA100	1121	64%	23BRMA	24	1%	40PLSI	390	22%
22PGA160	343	19%	23D2MA	142	8%	40PMAL	103	6%
22PGA16P	767	44%	23DMMA	904	51%	40PUISG	38	2%
22PGA1HA	69	4%	23RBOM	187	11%	40PUISP	51	3%
22PGA250	80	5%	23RSGA	24	1%	40PUSO	145	8%
22PGA25D	147	8%	23RSME	283	16%	40SLTR	507	29%
22PGA40	248	14%	23S2MA	186	11%	40TIFRAL	147	8%
22PGA400	85	5%	23SBMA	392	22%	40TIFRMA	138	8%
22PGA40A	50	3%	23TBE40	435	25%	40TIFRSI	165	9%
22PGA63	503	29%	23TCO160	120	7%	40TIMI	388	22%
22PGA63A	195	11%	23TCO40	98	6%	REP-21	45	3%
22PGA63P	228	13%	23TMO120	236	13%	REP-22	78	4%
22PGA63T	68	4%	23TMO12D	59	3%	REP-23	11	1%
22PGANOR	32	2%	23TMO140	280	16%	REP-40	1	0%
22RSI	32	2%	23TMO40	289	16%	Totale complessivo	15286	

Figura 5.1 – Tabella pivot relativa alla saturazione percentuale dei centri di lavoro su base annua

Dai risultati si evince un utilizzo degli asset estremamente contenuto, con valori che risultano frequentemente inferiori al 50%. Tale scenario è riconducibile da un lato ai bassi volumi produttivi attuali e, dall'altro, alla specificità delle operazioni eseguite da alcuni impianti: sono infatti presenti presse a triplo effetto, a luce alta e postazioni specifiche per la caffettiera "9090" (23B2MA) o il bollitore "9093" (40PMAL). È importante sottolineare che un singolo codice centro di lavoro si riferisce spesso a più macchine identiche presenti in reparto, sulle quali viene ripartita la percentuale di saturazione.

Le informazioni raccolte sono state riportate sulla planimetria del reparto (Figura 5.2), creando così la base analitica per le fasi successive.



Figura 5.2 – Stato Attuale d’impiego dei centri di lavoro

5.2 “Fase 1”

5.2.1 Razionalizzazione del parco macchine

La dismissione degli impianti permette di evitare i costi necessari per la messa a norma e per la relativa manutenzione. Tale scelta però sposta la pianificazione della produzione da una logica a *capacità illimitata* verso un modello a *capacità limitata*, che richiede una maggiore saturazione programmata degli asset per compensare il minor numero di impianti disponibili.

La selezione dei macchinari da dismettere è stata guidata da criteri di affidabilità meccanica, idraulica ed elettrica, oltre alla difficoltà nel reperimento dei ricambi delle unità fuori produzione. Nello specifico, saranno dismessi 16 centri di lavoro, le cui lavorazioni saranno trasferite a macchinari tecnologicamente simili e di forza uguale o superiore:

- 22PGANOR: Gruppo automatico di due presse idrauliche da 63 e 40 t;
- 22PGA40 / 22PGA40A: Presse idrauliche da 40 t (standard e luce alta);
- 22PGA63 / 22PGA63T: 3 presse idrauliche da 63 t (standard e triplo effetto);
- 22PGA100 / 22PGA1HA: 3 presse idrauliche da 100 t (standard e luce alta);
- 22PGA160: Pressa idraulica standard da 160t;
- 22PGA250: Pressa idraulica standard da 250 t;
- 22VDE70 / 22VDE100: Presse meccaniche a vite da 70 e 100 t;
- 23B2MA / 23SBMA: Sbavatrici – Bordatrici – Rifilatrici;
- 23DMMA Sbavatrice e bordatrice a doppio mandrino;
- 23TBE40: Pressa meccanica da 40 tonnellate.

Per garantire la fattibilità di quegli articoli che richiedono lavorazioni specifiche, è necessario l'acquisto di nuovi impianti:

- 22PGA70AT: Pressa idraulica da 70 t a luce alta e triplo effetto;
- 22PGA70: Pressa idraulica standard da 70 t;
- 22PGA120: Pressa idraulica da 120 t;
- 22VDE100: Pressa meccanica a vite da 100 t, in grado di lavorare anche a 40 t.

Queste nuove unità saranno posizionate negli spazi liberati dalle corrispettive dismesse, minimizzando l'impatto sul layout esistente. Infine, lo spostamento dell'unità “22PGA63A” permette di liberare un'area significativa del reparto (Figura 5.10), che può essere destinata all'installazione di nuovi impianti automatici.

5.2.2 Sviluppo Concettuale di una Linea Automatica

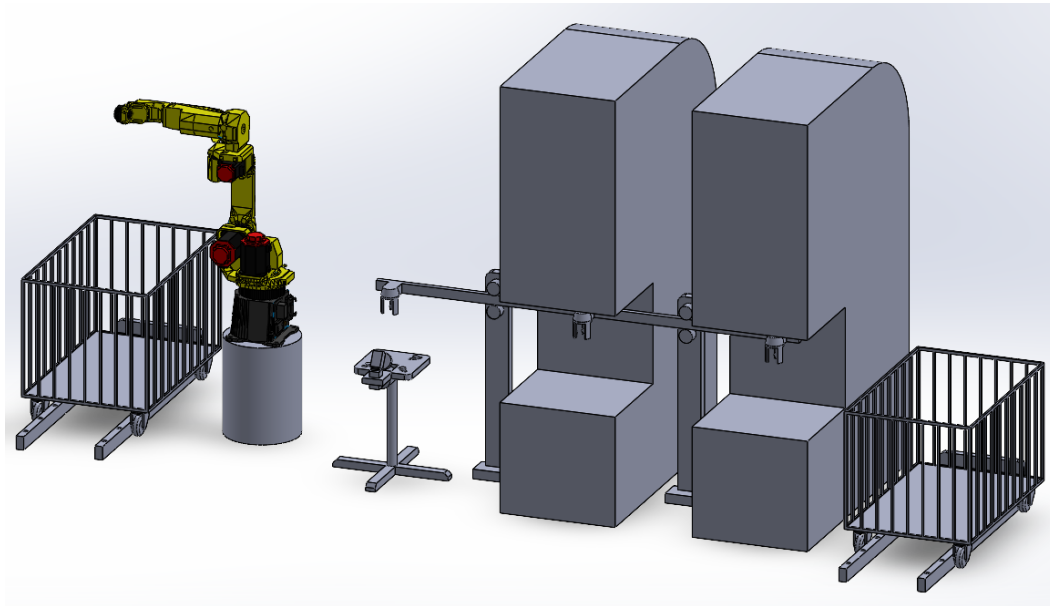


Figura 5.3 – Schizzo assonometrico del layout ideato.

La progettazione della linea pilota si è focalizzata sulla selezione delle tecnologie, sulla logica di interazione tra i sistemi e sulla loro disposizione reciproca nella planimetria di reparto, piuttosto che sul dettaglio costruttivo dei singoli organi meccanici. Quanto esposto costituisce una proposta progettuale volta a dimostrare la fattibilità tecnica dell'automazione; la sua effettiva implementazione resterà soggetta alle valutazioni dell'azienda, coerentemente con le proprie esigenze tecnologiche e finanziarie.

1. Analisi del Ciclo di Lavorazione

Sebbene la produzione del becco del bollitore “9093” richieda l’impiego di un massimo di quattro presse da 25 tonnellate (Figura 5.4), è stato da subito deciso di non utilizzare tutte le unità disponibili al fine di mantenere libera almeno una pressa per soddisfare le altre lavorazioni del reparto. Un layout a due stazioni permette di eseguire le fasi principali della produzione del becco (10-20, 30-40 e 110-110) operando sia sulla trasformazione dal grezzo che in ripresa sui semilavorati, ipotizzando che le restanti operazioni continuino ad essere eseguite manualmente come allo stato attuale. L’impiego di tre presse avrebbe invece comportato la frequente inattività di un’unità produttiva durante le fasi finali traducendosi in un ROI più elevato.

9093/BE				
0010	LUBR/1° IMBUTITURA	pressa	25 tons	
0020	2° IMBUTITURA	pressa	25 tons	
0030	3° IMBUTITURA	pressa	25 tons	
0040	4° IMBUTITURA	pressa	25 tons	
0050	SGRASSAGGIO			
0060	USCITA MERCI			
0070	RICOTTURA			
0080	LUBRIF/5° IMBUTITURA	pressa	25 tons	
0090	6° IMBUTITURA	pressa	63 tons	
0100	7° IMBUTITURA	pressa	25 tons	
0110	BORDATURA	pressa	25 tons	
0120	1° TRANCIATURA	trancia	40 tons	
0130	2° TRANCIATURA	trancia	40 tons	
0140	LUBRIF/CALIBRATURA			
0150	TRANCIATURA FONDO	trancia	40 tons	
0160	USCITA MERCI			
0170	LEVIGATURA			
0180	USCITA MERCI			
0190	SMERIGLIATURA E TRANCIATURA			
0200	SGRASSAGGIO			
0210	VERSAMENTO A MAGAZZINO			

Figura 5.4 – Ciclo di lavorazione e foto del becco

2. Scelta del Takt Time

Come spiegato nel capitolo 1, per una corretta progettazione della cella robotizzata, il *takt time* dev'essere determinato a partire dalla previsione di vendita annuale, 60.000 pezzi /anno. È stato scelto di considerare un tempo utile di 160 giorni lavorativi, corrispondenti al 60% dei 220 standard annuali, al fine di mantenere un periodo operativo "cuscinetto" per assorbire incrementi della domanda e garantire flessibilità per la lavorazione di altri codici prodotto.

Il calcolo effettuato secondo la Formula 1.2 ha restituito un *takt time* di 65 secondi (Figura 5.5).

Calcolo Takt Time Produttività			
ore giornaliere	8	turni giornalieri	1
giorni lavorativi anno	160	ore lavorative / anno	1.280
produzione [pezzi / anno]	60.000		
rendimento linea	0,85	Takt time	65 sec/pezzo

Figura 5.5 – Calcolo del takt time secondo la richiesta del mercato

Tuttavia, una linea automatizzata che opera secondo un ritmo molto dilatato risulterebbe economicamente inefficiente: il basso tasso di saturazione degli impianti aumenterebbe l'incidenza dei costi fissi sul singolo prodotto, pur di mantenere un ROI adeguato. Al contrario, per sviluppare il tempo ciclo medio di 6-10 secondi rilevato in reparto, sarebbe necessaria l'implementazione di sistemi di trasferimento ultrarapidi, più costosi: in seguito a confronti tecnici con aziende di integrazione robotica, infatti, è emerso che un robot antropomorfo esegue un trasferimento con precisione in sei secondi.

Sulla base di queste evidenze è stato quindi individuato un valore che permettesse di contenere i costi di installazione pur garantendo una buona saturazione degli impianti.

Il **takt time** scelto è **12 secondi**, il quale consente di:

- *Saturare la produzione annuale dei becchi in appena 29 giorni lavorativi*, garantendo elevata flessibilità per la lavorazione di altri codici prodotto, come le caldaie delle caffettiere “9090”;
- Sincronizzare le operazioni affinché avvengano il più possibile in tempo mascherato;
- Definire profili di moto in grado di prevenire fenomeni di grippaggio o instabilità dinamica dei semilavorati durante il trasporto.

3. Scelta del sistema di Trasferimento

Al fine di ridurre il più possibile l’ingombro in pianta, le presse (larghe circa 60 cm) verranno posizionate affiancate con un interasse di 1 metro.

Per la movimentazione dei semilavorati, è stato scelto un sistema “alza e sposta”: Tale meccanismo esegue il prelievo e il posizionamento dei semilavorati tramite una corsa verticale, completando il trasferimento alla stazione successiva attraverso una traslazione orizzontale. Il ciclo è controllato da un PLC centrale, che sincronizza il moto con lo stato di “presse aperte”, eliminando il rischio di collisioni e garantendo adattabilità alle variazioni dei tempi operativi. Inoltre, permette di eseguire il moto di trasferimento secondo un polinomio temporale di quinto grado (Figura 5.6), il quale raccorda i salti di accelerazione per salvaguardare la stabilità del pezzo e l'integrità meccanica del sistema da vibrazioni strutturali.

- ✓ Trajectory profile $q(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3 + a_4t^4 + a_5t^5, \quad t \in [0, T]$
 $\dot{q}(t) = a_1 + 2a_2t + 3a_3t^2 + 4a_4t^3 + 5a_5t^4$
 $\ddot{q}(t) = 2a_2 + 6a_3t + 12a_4t^2 + 20a_5t^3$
- ✓ 6 constrains $q(0) = q_s; q(T) = q_e; \dot{q}(0) = 0; \dot{q}(T) = 0; \ddot{q}(0) = 0; \ddot{q}(T) = 0$

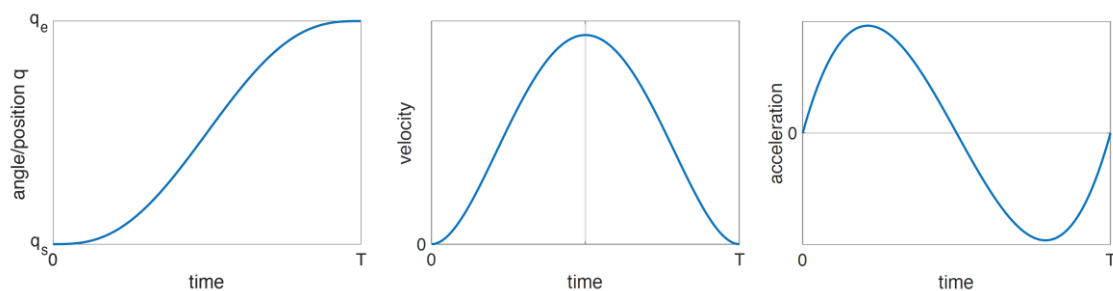


Figura 5.6 – Profilo di moto di quinto grado. “q” e successive righe indicano posizione, velocità e accelerazione del transfer

Questa tecnologia, già consolidata in azienda su impianti di dimensioni maggiori, è stata preferita all’impiego di robot antropomorfi pallettizzatori per la sua maggiore semplicità:

- **Cinematica:** la programmazione software di due soli assi lineari è più snella rispetto ai quattro assi rotativi del robot;
- **Economica:** meno complesso meccanicamente, garantisce un contenimento sia del CAPEX che degli oneri di manutenzione ordinaria;

- **Logistica:** l'architettura lineare si integra agevolmente negli spazi ristretti tra le presse, a differenza del maggiore ingombro in pianta richiesto da un robot frontale.

4. Scelta degli organi di presa

La superficie fortemente inclinata del semilavorato conico (Figura 5.4), la ridotta superficie libera superiore e la presenza costante di residui di olio di imbutitura rendono la presa instabile, con un elevato rischio di scivolamento o caduta del componente. Dopo un'analisi delle soluzioni standard presenti sul mercato, si è optato per la realizzazione di un sistema di presa a tre dita, equipaggiato con ventose che assicurano la ritenuta attraverso il vuoto generato per effetto Venturi sulla superficie del semilavorato.

Il materiale delle ventose dovrà essere elastico e resistente agli oli industriali, come il TPU (Poliuretano Termoplastico). La sua compatibilità con le tecnologie di Additive Manufacturing permette la realizzazione degli organi di presa a basso costo, assicurando flessibilità nello sviluppo delle dita dedicate ai diversi semilavorati.

5. Integrazione degli stampi

Affinché il semilavorato si trovi sempre in una posizione adatta al prelievo del transfer, è importante che gli stampi coinvolti nel processo siano revisionati secondo due direttrici:

1. **Allineamento Verticale:** Ogni lavorazione, deve lasciare il semilavorato alla stessa altezza da terra;
2. **Estrazione Controllata:** A causa dell'attuale estrazione meccanica che causa il distacco incontrollato del semilavorato dallo stampo, si prevede l'integrazione di attuatori ad azoto per assicurare uno sgancio ripetibile.

6. Sistema di Lubrificazione



Figura 5.7 – Postazione di Lubrificazione attuale, integrata al sistema “alza e sposta” (a destra)

A monte della prima pressa è stata prevista una stazione per la lubrificazione dei dischi, analoga a quella presente sull'attuale sistema automatico (Figura 5.7): fondamentale per il processo di stampaggio, è costituita da due rulli controrotanti in feltro compatto che mettono in rotazione il disco e lo lubrificano uniformemente.

7. Sistema di Carico

Il sistema di carico dev'essere progettato affinché possa gestire sia la presa dei dischi piani, sia il prelievo dei semilavorati.

I becchi sono stoccati alla rinfusa in gabbie (660x1010x610mm) che possono contenere oltre mille pezzi. Dunque, si rende necessario l'impiego di un sistema per effettuare il *bin picking*: azionato da un software di visione 3D per il riconoscimento degli elementi, un robot antropomorfo esegue il prelievo grazie ad una ventosa, posizionandosi sempre perpendicolare ad una superficie libera. Dopo l'orientazione, il pezzo viene collocato sulla postazione di lubrificazione che, inattiva, funge da centramento meccanico per il transfer.

Installato su un basamento alto 600 mm (ovvero avente il centro spalla 300 mm sopra il bordo superiore della gabbia), il robot FANUC M-10iD/12 (Figura 5.8) garantisce destrezza in tutto il volume della gabbia, grazie al *payload* di 12 kg e allo sbraccio di 1400 mm.



Figura 5.8 - FANUC M-10iD/12

Impilati in una torretta di centraggio analoga a quella prevista per l'impianto di SHS (Figura 3.6), i dischi invece devono essere prelevati singolarmente e posizionati sulla stazione di lubrificazione. In questo scenario, l'adozione del robot permette di garantire il distacco di ogni singola unità inclinando il polso di 10°-15° durante la risalita per vincere l'effetto ventosa. Ne consegue che anche la prima stazione del transfer dovrà essere equipaggiata con una ventosa.

Per consentire una transizione rapida tra le due modalità di lavoro, si prevede che i materiali possano raggiungere l'area operativa del robot su guide meccaniche. L'aggiunta di finecorsa permette di vincolare le strutture nelle loro posizioni di lavoro, garantendo al robot coordinate di prelievo sempre costanti.

8. Sistema di Scarico

Il transfer posiziona l'ultimo semilavorato su un breve nastro trasportatore che lo fa cadere nella gabbia di raccolta senza un particolare orientamento, in virtù del sistema di visione a monte della linea.

9. Logica di Funzionamento

Per garantire il rispetto del *takt time* di 12 secondi, la logica di controllo coordina le unità in funzione del ciclo delle presse:

- **Sincronizzazione della Lubrificazione:** la lubrificazione avviene durante lo stampaggio, mascherando il tempo operativo;
- **Ottimizzazione del ciclo di Carico:** la presenza di un margine temporale di 4 secondi (Figura 5.9), annulla la variabilità del *bin picking* impedendo al robot di diventare il collo di bottiglia del sistema.

Il coordinamento delle varie operazioni è riassunto nel diagramma delle fasi in Figura 5.9. Si precisa che ciascun andamento non esprime una posizione reale, ma rappresenta esclusivamente una successione di movimenti.

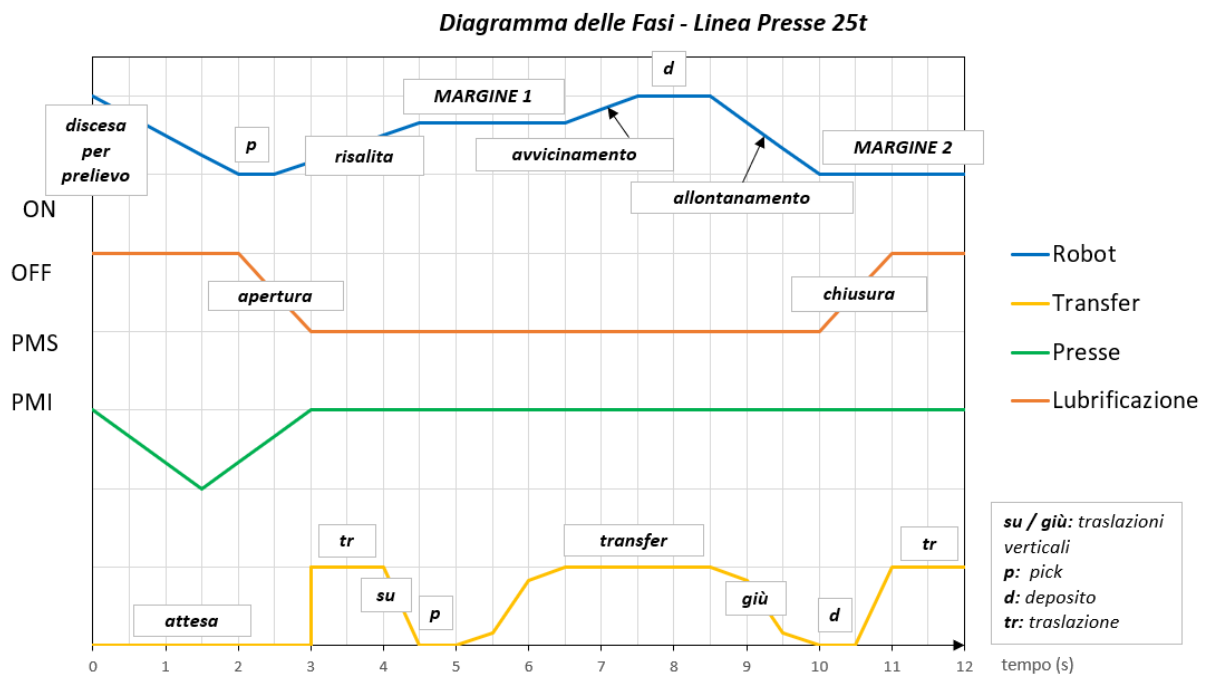


Figura 5.9 – Diagramma delle fasi

5.2.3 Risultato “Fase 1”

La Figura 5.10 mostra la planimetria del reparto a valle degli interventi previsti sino ad ora, delineando un layout ottimizzato per lo step successivo che integra il nuovo sistema automatico con le aree produttive razionalizzate.

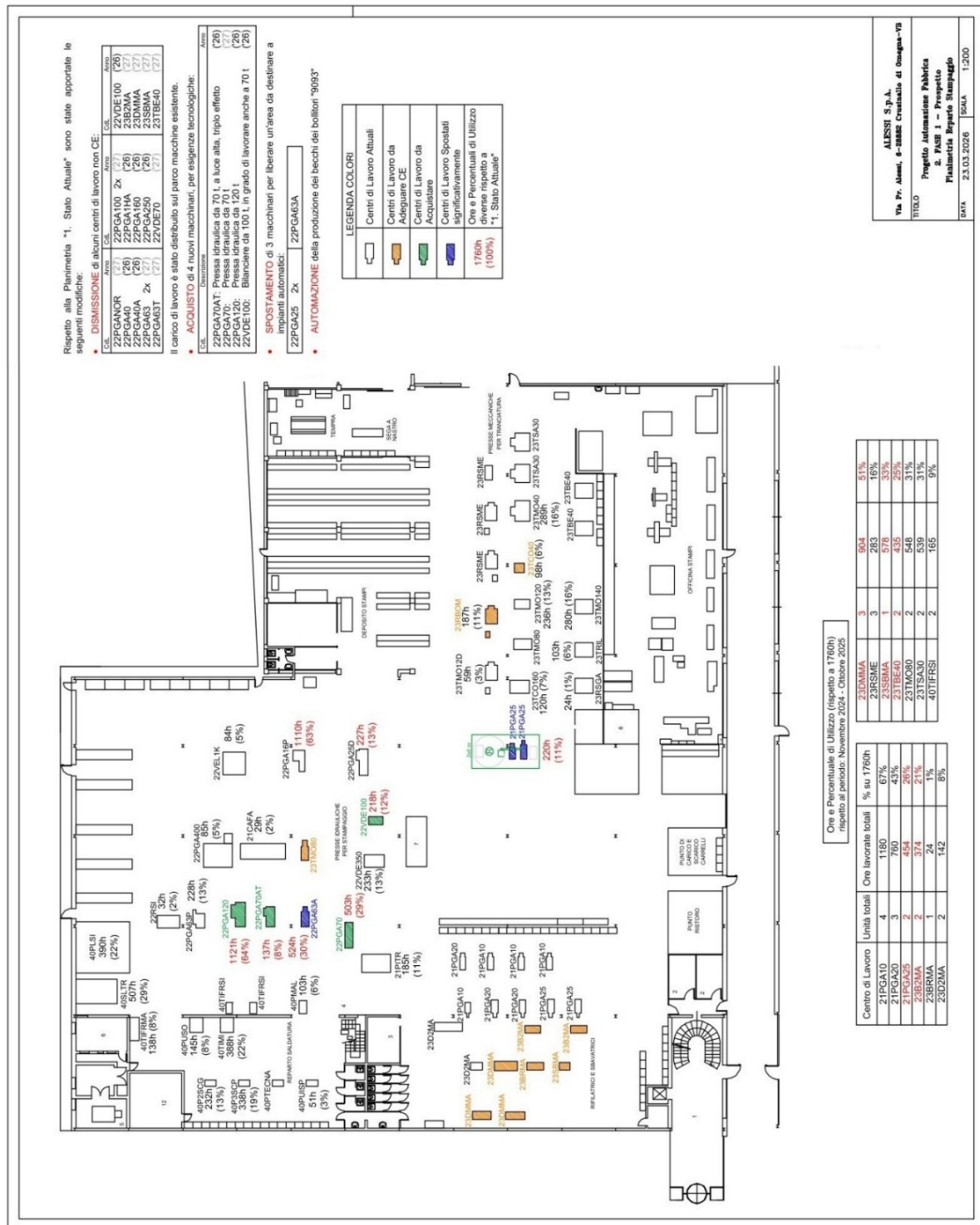


Figura 5.10 – Progetto Evoluzione Fabbrica: “FASE 1”

In rosso, sono evidenziati gli indici di saturazione che sono cambiati rispetto allo “Stato attuale”: in particolare, l'indice di sfruttamento del centro di lavoro “22PGA25” è diminuito in virtù dell'automazione; il suo valore è stato ottenuto interpellando la tabella pivot dei centri di lavoro, sottraendo dal carico manuale le ore spese per eseguire operazioni ora automatiche (177 ore).

L'approvazione di questa fase del *Master Plan* dà il via alla fase esecutiva, la quale prevede la pianificazione temporale degli interventi da eseguire (dismissioni, adeguamento, spostamenti) secondo i finanziamenti disponibili per gli anni 2026 e 2027.

5.3 “Fase 2”

Il proseguimento della strategia di evoluzione prevede la realizzazione di una **nuova cella automatica flessibile**. Per agevolare la transizione, *in un primo momento i macchinari verranno riallocati all'interno della nuova area libera mantenendo gli spazi necessari all'operatività manuale*, permettendo di continuare a utilizzare la capacità produttiva senza interruzioni, in attesa dell'integrazione dei sistemi di asservimento robotizzato.

5.3.1 Sviluppo Concettuale di una Cella Automatica

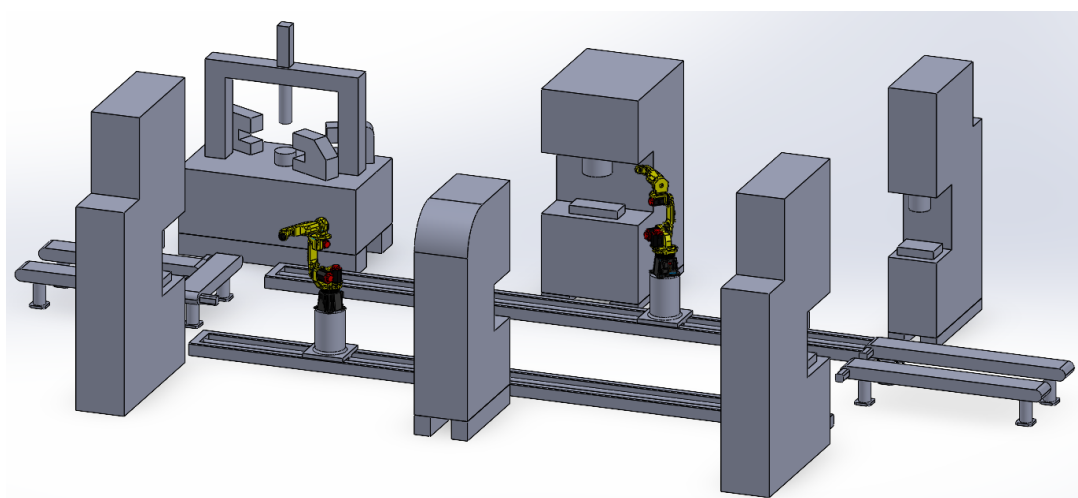


Figura 5.11 – Schizzo assonometrico del layout ideato

Riprendendo il lavoro effettuato nel capitolo 3.1 (cfr. "eseguita in stampaggio?") sui cicli di produzione degli articoli *best seller*, le sequenze di operazioni non interrotte da uscite merci sono state raccolte in una tabella (Figura 5.12), mappate secondo i centri di lavoro impiegati. È stata considerata la possibilità di gestire flussi bidirezionali: in grassetto sono evidenziate le successioni che entrano nella cella automatica in ordine inverso (lettura da destra verso sinistra). L'obiettivo di questa analisi è quello di identificare quale gruppo di impianti massimizza il numero di operazioni eseguibili, garantendo così la più ampia flessibilità operativa.

Materiale	Op	max lotto									
9093 FM.2	10-20	10.680		Pressa 2	Pressa piccola 1						
9093 FM.2	30-70	10.680			Pressa piccola 1		Pressa 3	Sbavatrice	Tranciatrice 1		Pressa piccola 3
9093 FM.2	100-120	10.680					Pressa 3	Sbavatrice	Tranciatrice 1		Pressa piccola 3
9090/6/RC.2	10-30	2.310		Pressa 2			Pressa 3	Sbavatrice		Pressa 4	
9090/6/RC.2	90-100	2.310						Sbavatrice	Tranciatrice 1		
9090/6/RC.2	210-240	2.310			Pressa piccola 1	Pressa piccola 2			Tranciatrice 1		Tranciatrice 2
9090/6FM/CD.2	10-30	2.000	Pressa 1	Pressa 2			Pressa 3			Pressa 4	
9090/6/RCF	10-30	3.190						Sbavatrice	Tranciatrice 1		Pressa piccola 3
9090/M/CD.2	20-50	1.010	Pressa 1	Pressa 2			Pressa 3			Pressa 4	
9090/M/MA.2	60-90	2.440		Pressa 2	Pressa piccola 1	Pressa piccola 2			Tranciatrice 1		
9090/M/RC.2	10-40	1.050		Pressa 2			Pressa 3	Sbavatrice		Pressa 4	
9090/M/RC.2	230-250	1.050						Sbavatrice		Pressa 4	Tranciatrice 2
MT02.2	50-60	2.420		Pressa 2			Pressa 3				
9090/1/MA.2	30-50	1.455		Pressa 2	Pressa piccola 1				Tranciatrice 1		
9090/1/RC.2	10-30	1.005		Pressa 2			Pressa 3	Sbavatrice			Pressa piccola 3
9090/1/RC.2	90-110	1.005						Sbavatrice			Pressa piccola 3
9090/1/RC.2	180-200	1.005			Pressa piccola 1				Tranciatrice 1		Tranciatrice 2
9093/1/FM.2	10-60	3.000		Pressa 2	Pressa piccola 1		Pressa 3	Sbavatrice	Tranciatrice 1	Pressa 4	
9093/1/FM.2	90-110	3.000					Pressa 3		Tranciatrice 1		Pressa piccola 3
5051.2	20-50	1.015	Pressa 1	Pressa 2			Pressa 3			Pressa 4	
5051.2	60-80	1.015						Sbavatrice		Pressa 4	Tranciatrice 2
5051.MA	80-100	2.460			Pressa piccola 1			Sbavatrice			Pressa piccola 3

Figura 5.12 – Matrice delle 22 sequenze operative identificate

1. Ottimizzazione dei dati

La definizione del layout è stata preceduta da una fase di ottimizzazione dei dati. Si è proceduto dapprima alla ridistribuzione del lavoro eseguito dalle presse piccole 2 e 3 sulle unità di carico superiore adiacenti (Figura 5.13). Questa scelta risponde a tre esigenze:

- aumenta l'indice di sfruttamento dei centri di lavoro, a favore di un ROI più rapido;
- diminuisce il numero di macchine coinvolte nel progetto, inutilizzabili dal reparto durante i periodi di fermo;
- diminuisce l'ingombro in pianta, agevolando l'integrazione nel layout di stabilimento.

Materiale	Op	max lotto									
9093 FM.2	10-20	10.680		Pressa 2	Pressa piccola 1						
9093 FM.2	30-70	10.680			Pressa piccola 1		Pressa 3	Sbavatrice	Tranciatrice 1	Pressa 4	Pressa-piccola-3
9093 FM.2	100-120	10.680					Pressa 3	Sbavatrice	Tranciatrice 1	Pressa 4	Pressa-piccola-3
9090/6/RC.2	10-30	2.310		Pressa 2			Pressa 3	Sbavatrice		Pressa 4	
9090/6/RC.2	90-100	2.310						Sbavatrice	Tranciatrice 1		
9090/6/RC.2	210-240	2.310		Pressa 2	Pressa piccola 1	Pressa-piccola-2			Tranciatrice 1		Tranciatrice 2
9090/6FM/CD.2	10-30	2.000	Pressa 1	Pressa 2			Pressa 3			Pressa 4	
9090/6/RCF	10-30	3.190						Sbavatrice	Tranciatrice 1	Pressa 4	Pressa-piccola-3
9090/M/CD.2	20-50	1.010	Pressa 1	Pressa 2			Pressa 3			Pressa 4	
9090/M/MA.2	60-90	2.440		Pressa 2	Pressa piccola 1	Pressa-piccola-2	Pressa 3		Tranciatrice 1		
9090/M/RC.2	10-40	1.050		Pressa 2			Pressa 3	Sbavatrice		Pressa 4	
9090/M/RC.2	230-250	1.050						Sbavatrice		Pressa 4	Tranciatrice 2
MT02.2	50-60	2.420		Pressa 2			Pressa 3				
9090/1/MA.2	30-50	1.455		Pressa 2	Pressa piccola 1				Tranciatrice 1		
9090/1/RC.2	10-30	1.005		Pressa 2			Pressa 3	Sbavatrice		Pressa 4	Pressa-piccola-3
9090/1/RC.2	90-110	1.005						Sbavatrice		Pressa 4	Pressa-piccola-3
9090/1/RC.2	180-200	1.005			Pressa piccola 1				Tranciatrice 1	Pressa 4	Pressa-piccola-3
9093/1/FM.2	10-60	3.000		Pressa 2	Pressa piccola 1		Pressa 3	Sbavatrice	Tranciatrice 1	Pressa 4	Pressa-piccola-3
9093/1/FM.2	90-110	3.000					Pressa 3		Tranciatrice 1	Pressa 4	Pressa-piccola-3
5051.2	20-50	1.015	Pressa 1	Pressa 2			Pressa 3			Pressa 4	
5051.2	60-80	1.015						Sbavatrice		Pressa 4	Tranciatrice 2
5051.MA	80-100	2.460			Pressa piccola 1			Sbavatrice		Pressa 4	Pressa-piccola-3

Figura 5.13 – Ridistribuzione dei carichi di lavoro dai centri minori alle unità di carico superiore

Successivamente, sono state escluse le operazioni intermedie che richiedono l'introduzione di semilavorati dall'esterno (Figura 5.14): poiché la variabilità del mix produttivo rende statisticamente impossibile prevedere l'introduzione dei componenti sempre nella medesima postazione, tale esclusione permette di mantenere la cella snella e flessibile evitando la progettazione di infrastrutture dedicate che costituirebbero un ostacolo permanente durante la lavorazione di quei codici che non ne richiedono l'utilizzo.

Materiale	Op	max lotto								
9093 FM.2	10-20	10.680		Pressa 2	Pressa piccola 1					
9093 FM.2	30-70	10.680			Pressa piccola 1	Pressa 3	Sbavatrice	Tranciatrice 1	Pressa 4	
9093 FM.2	100-110	10.680				Pressa 3		Tranciatrice 1	Pressa 4	
9090/6/RC.2	10-30	2.310		Pressa 2		Pressa 3	Sbavatrice		Pressa 4	
9090/6/RC.2	90-100	2.310					Sbavatrice	Tranciatrice 1		
9090/6/RC.2	210-230	2.310		Pressa 2	Pressa piccola 1			Tranciatrice 1		Tranciatrice 2
9090/6FM/CD.2	10-30	2.000	Pressa 1	Pressa 2		Pressa 3			Pressa 4	
9090/6/RCF	10-30	3.190					Sbavatrice	Tranciatrice 1	Pressa 4	
9090/M/CD.2	20-50	1.010	Pressa 1	Pressa 2		Pressa 3			Pressa 4	
9090/M/MA.2	60-90	2.440		Pressa 2	Pressa piccola 1	Pressa 3		Tranciatrice 1		
9090/M/RC.2	10-40	1.050		Pressa 2		Pressa 3	Sbavatrice		Pressa 4	
9090/M/RC.2	230-240	1.050					Sbavatrice		Pressa 4	Tranciatrice 2
MT02.2	50-60	2.420		Pressa 2		Pressa 3				
9090/1/MA.2	30-50	1.455		Pressa 2	Pressa piccola 1			Tranciatrice 1		
9090/1/RC.2	10-30	1.005		Pressa 2		Pressa 3	Sbavatrice		Pressa 4	
9090/1/RC.2	90-110	1.005					Sbavatrice		Pressa 4	Tranciatrice 2
9090/1/RC.2	190-200	1.005			Pressa piccola 1			Tranciatrice 1	Pressa 4	
9093/1/FM.2	10-60	3.000		Pressa 2	Pressa piccola 1	Pressa 3	Sbavatrice	Tranciatrice 1	Pressa 4	
9093/1/FM.2	90-100	3.000				Pressa 3		Tranciatrice 1	Pressa 4	
5051.2	20-50	1.015	Pressa 1	Pressa 2		Pressa 3			Pressa 4	
5051.2	60-80	1.015					Sbavatrice		Pressa 4	Tranciatrice 2
5051.MA	80-100	2.460			Pressa piccola 1		Sbavatrice		Pressa 4	

Figura 5.14 – Rimozione delle operazioni con introduzione di semilavorato esterno

Questa operazione ha permesso di ridistribuire alcune sequenze, ottimizzando ulteriormente la saturazione complessiva del sistema.

2. Scelta delle Macchine

In prima battuta sono stati scelti i parametri di forza di ciascun asset, dettagliati nei cicli di lavorazione, al fine di garantire la massima compatibilità con il mix produttivo identificato (Tabella 5.1):

Pressa 1	Pressa 2	Pressa piccola 1	Pressa 3	Sbavatrice	Tranciatrice 1	Pressa 4	Tranciatrice 2
160t	100t	20t	100t	-	80t	63t	40t

Tabella 5.1 – Selezione delle capacità nominali dei centri di lavoro

In seguito ad un confronto con il reparto produttivo, sono stati selezionati i centri di lavoro sulla base di tre criteri fondamentali: la conformità ai requisiti CE, l'idoneità tecnica all'integrazione in un sistema automatico e il basso indice di saturazione. La configurazione finale della cella è riportata nella Tabella 5.2.

Pressa 1	Pressa 2	Pressa piccola 1	Pressa 3	Sbavatrice	Tranciatrice 1	Pressa 4	Tranciatrice 2
22PGA25D	22PGA70	22PGA20	22PGA120	23RSGA	23TMO80	23PGA63P	23TBE40
250t	70t	20t	120t	-	80t	63t	40t

Tabella 5.2 – Sintesi dei macchinari selezionati per lo sviluppo della cella automatizzata

Nello specifico:

- La “Pressa 1” da 160 tonnellate è stata sostituita con una da 250, ora poco saturata;
- La “Pressa 2” corrisponde al centro di lavoro introdotto in reparto nella fase precedente;
- La “Pressa 3” dovrà essere acquistata;

- La sbavatrice, attualmente sottoutilizzata a causa della sua architettura che permette di eseguire più operazioni successive, viene invece valorizzata in un ciclo automatico;
- La “Pressa 4”, già programmabile, può essere facilmente interfacciata con un PLC centrale;
- L'ampia disponibilità di presse da 20 tonnellate e tranciatrici da 40 e 80 tonnellate ha permesso di vincolare stabilmente un'unità alla cella senza sottrarre capacità produttiva.

Questa selezione ha portato all'esclusione di una delle ventidue combinazioni del mix produttivo: poiché tale sequenza prevedeva un'operazione di tranciatura di tonnellaggio superiore a quello selezionato, si è ritenuto inefficiente eseguire in linea l'unica lavorazione rimasta che può essere invece gestita agevolmente in modalità manuale.

La Figura 5.15 definisce quindi il perimetro operativo per la successiva definizione del layout.

Materiale	Op	max lotto								
9093 FM.2	10-20	10.680	Pressa 250t		Pressa 20t					
9093 FM.2	30-70	10.680			Pressa 20t	Pressa 120t	Sbavatrice	Tranciatrice 80t	Pressa 63t	
9093 FM.2	100-110	10.680				Pressa 120t		Tranciatrice 80t		
9090/6/RC.2	10-30	2.310		Pressa 70t		Pressa 120t	Sbavatrice		Pressa 63t	
9090/6/RC.2	90-100	2.310					Sbavatrice	Tranciatrice 80t		
9090/6/RC.2	210-230	2.310			Pressa 20t			Tranciatrice 80t		Tranciatrice 40t
9090/6FM/CD.2	10-30	2.000	Pressa-250t	Pressa 70t		Pressa 120t			Pressa 63t	
9090/6/RCF	10-30	3.190					Sbavatrice	Tranciatrice 80t	Pressa 63t	
9090/M/CD.2	30-50	1.010	Pressa-250t	Pressa 70t		Pressa 120t			Pressa 63t	
9090/M/MA.2	60-90	2.440		Pressa 70t	Pressa 20t	Pressa 120t		Tranciatrice 80t		
9090/M/RC.2	10-40	1.050		Pressa 70t		Pressa 120t	Sbavatrice		Pressa 63t	
9090/M/RC.2	230-240	1.050				Pressa 120t		Tranciatrice 80t		
MT02.2	50-60	2.420		Pressa 70t		Pressa 120t				
9090/1/MA.2	30-50	1.455		Pressa 70t	Pressa 20t			Tranciatrice 80t		
9090/1/RC.2	10-30	1.005		Pressa 70t		Pressa 120t	Sbavatrice		Pressa 63t	
9090/1/RC.2	90-110	1.005					Sbavatrice		Pressa 63t	Tranciatrice 40t
9090/1/RC.2	190-200	1.005						Tranciatrice 80t	Pressa 63t	
9093/1/FM.2	10-60	3.000		Pressa 70t	Pressa 20t	Pressa 120t	Sbavatrice	Tranciatrice 80t	Pressa 63t	
9093/1/FM.2	90-100	3.000				Pressa 120t		Tranciatrice 80t		
5051.2	30-50	1.015	Pressa-250t	Pressa 70t		Pressa 120t			Pressa 63t	
5051.2	60-80	1.015						Tranciatrice 80t	Pressa 63t	
5051/MA	80-100	2.460			Pressa 20t		Sbavatrice		Pressa 4	
			1	10	7	13	8	11	13	2
			5%	48%	33%	62%	38%	52%	62%	10%

Figura 5.15 – Definizione del perimetro operativo: scelta finale dei tonnellaggi necessari

3. Identificazione del Layout del Sistema

L'analisi delle sequenze operative condotta sino ad ora, dimostra che la successione di macchinari adottata rappresenta una soluzione ottimale per il layout del sistema; infatti, suddividendo il flusso in due metà, si osserva che:

- La presenza di almeno due centri di lavoro costantemente attivi per ciascuna metà assicura un buon coefficiente di saturazione per ogni lato;
- Qualora una metà risulti inattiva, essa può essere attrezzata per la lavorazione di codici prodotto differenti, minimizzando i tempi morti e accelerando il tempo di *payback*. Questa gestione, resa possibile attraverso la compartimentazione delle aree con barriere fotoelettriche, garantisce la massima sicurezza e conferisce grande flessibilità.

Al fine di validare con maggior rigore tale configurazione, è stato implementato il “metodo dei momenti” (Figura 5.16), il quale ha confermato la sequenza individuata.

MACCHINE	POSIZIONE						media	reale
	1	2	3	4	5	6		
Pressa 250t (250t)	10680						1,0	1
Pressa 70t (70t)	31385	21490	5440		1050		1,6	2
Pressa piccola 20t (20t)	13140	17575		2310			1,7	3
Pressa 120t (120t)	0	21490	5440		1050		2,3	4
Sbavatrice	1005	2460	15045	6190	1015		3,1	5
Tranciatrice 80t (80t)	1005	13680	1455	13120	8500	1050	3,5	6
Pressa 63t (63t)		2010	6485	4365	10680	7205	4,5	7
Tranciatrice 40t (40t)			1005			2310	5,1	8

Materiale	Op	Q.tà	1	2	3	4	5	6
9093 FM.2	10-20	10680	Pressa 250t	Pressa piccola 20t				
9093 FM.2	30-70	10680	Pressa piccola 20t	Pressa 120t	Sbavatrice	Tranciatrice 80t	Pressa 63t	
9093 FM.2	100-110	10680	Pressa 70t	Tranciatrice 80t				
9090/6/RC.2	10-30	2310	Pressa 70t	Pressa 120t	Sbavatrice	Pressa 63t		
9090/6/RC.2	210-230	2310				Pressa piccola 20t	Tranciatrice 80t	Tranciatrice 40t
9090/6FM/CD.2	10-30	2000	Pressa 70t	Pressa 120t	Pressa 63t			
9090/6/RCF	10-30	3190				Sbavatrice	Tranciatrice 80t	Pressa 63t
9090/M/CD.2	20-50	1010	Pressa 70t	Pressa 120t	Pressa 63t			
9090/M/MA.2	60-90	2440	Pressa 70t	Pressa piccola 20t	Pressa 120t	Tranciatrice 80t		
9090/M/RC.2	10-40	1050	Pressa 70t	Pressa 120t	Sbavatrice	Pressa 63t		
9090/M/RC.2	230-240	1050					Pressa 120t	Tranciatrice 80t
MT02.2	50-60	2420	Pressa 70t	Pressa 120t				
9090/1/MA.2	30-50	1455	Pressa 70t	Pressa piccola 20t	Tranciatrice 80t			
9090/1/RC.2	10-30	1005	Pressa 70t	Pressa 120t	Sbavatrice	Pressa 63t		
9090/1/RC.2	90-110	1005	Sbavatrice	Pressa 63t	Tranciatrice 40t			
9090/1/RC.2	190-200	1005	Tranciatrice 80t	Pressa 63t				
9093/1/FM.2	10-60	3000	Pressa 70t	Pressa piccola 20t	Pressa 120t	Sbavatrice	Tranciatrice 80t	Pressa 63t
9093/1/FM.2	90-100	3000	Pressa 70t	Tranciatrice 80t				
5051.2	20-50	1015	Pressa 70t	Pressa 120t	Pressa 63t			
5051.2	60-80	1015					Sbavatrice	Pressa 63t
5051.MA	80-100	2460	Pressa piccola 20t	Sbavatrice	Pressa 63t			

Figura 5.16 - Metodo dei Momenti per la determinazione delle posizioni medie dei centri di lavoro

L'analisi del mix produttivo (Figura 5.15) ha anche evidenziato uno scarso impiego delle postazioni esterne, limitato a un utilizzo medio del 7%. Sebbene inizialmente si fosse ipotizzato di collocare la Pressa da 250 t e la Tranciatrice da 40 t in prossimità dell'impianto, il distanziamento tra i macchinari imposto ad almeno 3.5 m ha saturato lo spazio in pianta disponibile, rendendo preferibile il mantenimento delle unità nelle posizioni attuali. La loro importanza funzionale è stata però preservata orientando l'ingresso della cella verso di esse; tale configurazione, supportata da corridoi di manovra di 3 metri assicura la movimentazione agevole dei materiali e l'accessibilità all'impianto.

L'organizzazione degli spazi, illustrata in Figura 5.17, segue una configurazione a 'U' che ripiega il flusso produttivo su sé stesso per massimizzare la compattezza del sistema. Come evidenziato dai vettori di flusso in figura, tale scelta non vincola il sistema a un unico punto di accesso, ma consente di alimentare e scaricare entrambe le metà (A e B) in modo indipendente e bidirezionale.

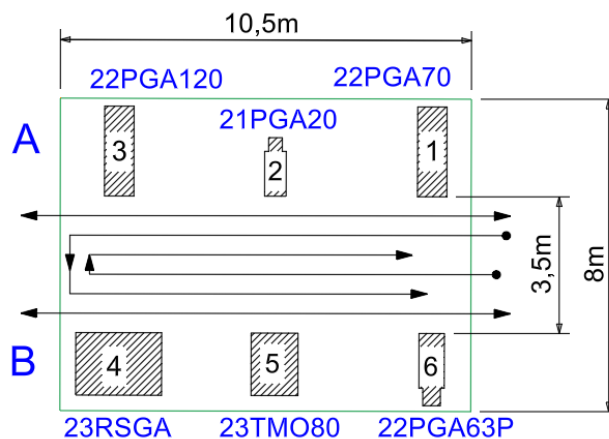


Figura 5.17 – Schema funzionale del layout a "U": ingombro e flussi logistici possibili

Lato A:

- Stazione 1:** Pressa 70 t
- Stazione 2:** Pressa 20 t
- Stazione 3:** Pressa 120 t

Lato B:

- Stazione 4:** Sbavatrice
- Stazione 5:** Tranciatrice 80 t
- Stazione 6:** Pressa 63 t

Tabella 5.3 – Legenda dei componenti della cella e suddivisione per aree operative

4. Scelta del transfer

Il sistema di movimentazione è stato progettato per garantire la gestione dei flussi bidirezionali e il salto di una stazione (*bypass*). La necessità di orientare i semilavorati tra le diverse fasi ha imposto l'adozione di robot antropomorfi in grado di manipolare il componente e assicurarne il corretto posizionamento nel centro di lavoro successivo.

In considerazione dell'ampia distanza tra le postazioni, l'adozione di un settimo asse lineare (Figura 5.18) è risultata la soluzione ottimale sia dal punto di vista tecnico che economico. Anziché impiegare più robot ad alto sbraccio (solitamente dimensionati per carichi pesanti, superiori a 500 kg), l'installazione di un binario a terra permette il posizionamento frontale rispetto ad ogni macchina e consente di adottare unità con sbraccio standard, più compatte ed economiche, alle quali è unicamente richiesto il movimento di ingresso e uscita dall'area operativa di ogni stazione.



Figura 5.18 – Robot FANUC M-10iD/10L installato su settimo asse lineare

Dal catalogo FANUC è stato selezionato il modello M-10iD/10L, appartenente alla stessa serie già adottata per la linea automatica precedente, ma caratterizzato da uno sbraccio maggiore (1,63 m) e un payload massimo di 10 kg. L'impiego di due robot indipendenti permette di mantenere la flessibilità acquisita dalla compartimentazione del sistema.

Il trasferimento dei pezzi tra i due lati della "U" viene previsto adottando un nastro trasportatore di interscambio, sul quale il primo robot deposita il semilavorato per renderlo disponibile alla presa del secondo. L'integrazione di una paratia mobile in grado di deviare il flusso su un tratto perpendicolare permette il disaccoppiamento dei due rami della cella, realizzando la gestione dei flussi inversi su entrambe le metà e fungendo da polmone di accumulo (*buffer*). In questo contesto, risulta fondamentale l'adozione di organi di presa *end effector* capaci di gestire la manipolazione indipendentemente dalla direzione del flusso.

L'integrazione di nastri trasportatori anche in ingresso e in uscita, consente il carico e lo scarico manuale dei semilavorati in totale sicurezza, evitando ogni interferenza tra l'operatore e i volumi di lavoro dei robot.

L'accesso ai centri di lavoro per l'attrezzaggio e la manutenzione è previsto attraverso i lati maggiori delle recinzioni rigide perimetrali: il personale può così intervenire posizionandosi lateralmente rispetto alle macchine.

In Figura 5.19 è riportato il layout definitivo:

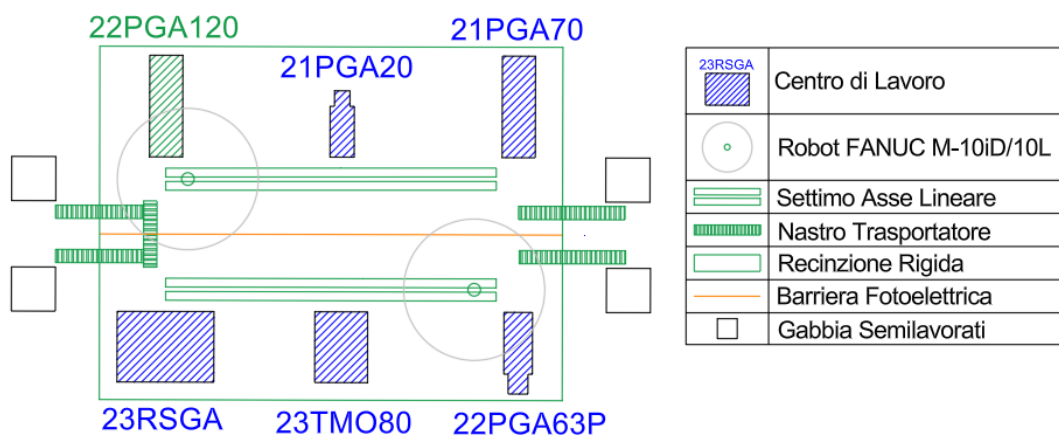


Figura 5.19 - Layout Finale Cella Flessibile

5. Calcolo del Takt Time

La determinazione della cadenza produttiva ha seguito lo stesso ragionamento sviluppato per la precedente linea automatica: sulla base dei volumi annui di produzione pianificati dall'azienda per i prodotti *best seller*, sono stati considerati 160 giorni lavorativi. Assumendo un coefficiente di efficienza globale pari a 0,85, si ottiene un *takt time* obiettivo di 44 secondi (Figura 5.20). Questa cadenza non solo soddisfa la domanda attuale, ma permette l'inserimento a budget di ulteriori tre lotti da 10.000 pezzi ciascuno, siano essi bollitori o caffettiere.

Calcolo Takt Time Produttività			
ore giornaliere	8	turni giornalieri	1
giorni lavorativi anno	160	ore lavorative / anno	1.280
produzione [pezzi / anno]	88.500		
rendimento linea	0,85	Takt time	44 sec/pezzo

Figura 5.20 – Calcolo del takt time

Per effettuare la validazione, sono stati rilevati in reparto i tempi di Carico (*Load*), Lavoro (*Work*) e Scarico (*Unload*) dei vari centri di lavoro (Figura 5.21).

	load	work	unload	tot
Pressa	2	4	2	8
	4	4	2	10
	5	4	2	11
	5	6	3	14
	5	3	2	10
	5	3	3	11
	3,5	6	2	11,5
Pressa piccola	3	2	3	8
	4	2	4	10
	2	2	2	6
	2	3	2	7

	load	work	unload	tot
Sbavatrice	3	8	2	13
	1,5	3,5	2	7
	1,5	2	5	8,5
	1,5	2,5	5	9
Pressa Meccanica	4	4	6	14
	3	3	6	12
	4	2	2	8
	5	2	2	9
	4	2	2	8

Figura 5.21 – Rilevazione cronometrica dei tempi ciclo in reparto

Osservando i tempi di lavoro della Sbavatrice, si evidenzia che il *takt time* del sistema oscillerà tra un massimo e un minimo in funzione della complessità della lavorazione in corso. I tempi di *Load* e *Unload* forniscono invece indicazioni riguardo la complessità di manipolazione del semilavorato:

- Un elevato tempo di Carico manuale indica la necessità di un posizionamento accurato;
- Un elevato tempo di Scarico manuale indica invece la presenza di impedimenti fisici che il transfer non può ignorare.

Quest'ultima criticità si riferisce in particolare alla gestione dello sfrido per le operazioni di Tranciatura e Rifilatura: poiché l'intervento umano in una cella automatizzata ridurrebbe l'autonomia del sistema e ne abbasserebbe l'efficienza, è fondamentale adottare sistemi di evacuazione automatica degli scarti, come l'impiego di cesoie pneumatiche e di un nastro raccogliatore sottostante o un sistema di aspirazione sincronizzato.

Sebbene la cella operi al di sotto della capacità teorica di alcuni centri di lavoro (potenzialmente in grado di sviluppare cicli di 8-10 secondi), l'assunzione dei 44 secondi non costituisce un limite perché:

- Assicura che le macchine coinvolte non siano mai il collo di bottiglia e che operino sempre in condizioni di bassa usura meccanica;
- Nel caso di un forte incremento della domanda legato a campagne promozionali per il canale B2B, l'operatività della cella può essere scalata oltre la saturazione estendendo la turnazione fino a 24h, triplicando la capacità produttiva.

Dunque, la “lentezza” operativa del sistema è il risultato dell’esigenza di semplicità e risparmio economico immediato, mentre la “velocità” dei centri di lavoro è una garanzia per la crescita della produzione.

6. Diagrammi delle Fasi

I diagrammi delle fasi delle due sezioni della cella (Figura 5.22 e Figura 5.23) evidenziano l'interazione tra i robot e i centri di lavoro, permettono di verificare la fluidità della logica "One-Piece-Flow" e il sequenziamento "Pull" dei movimenti: il robot inizia il suo ciclo scaricando l'ultima stazione, per poi risalire la linea spostando progressivamente i semilavorati verso le stazioni successive.

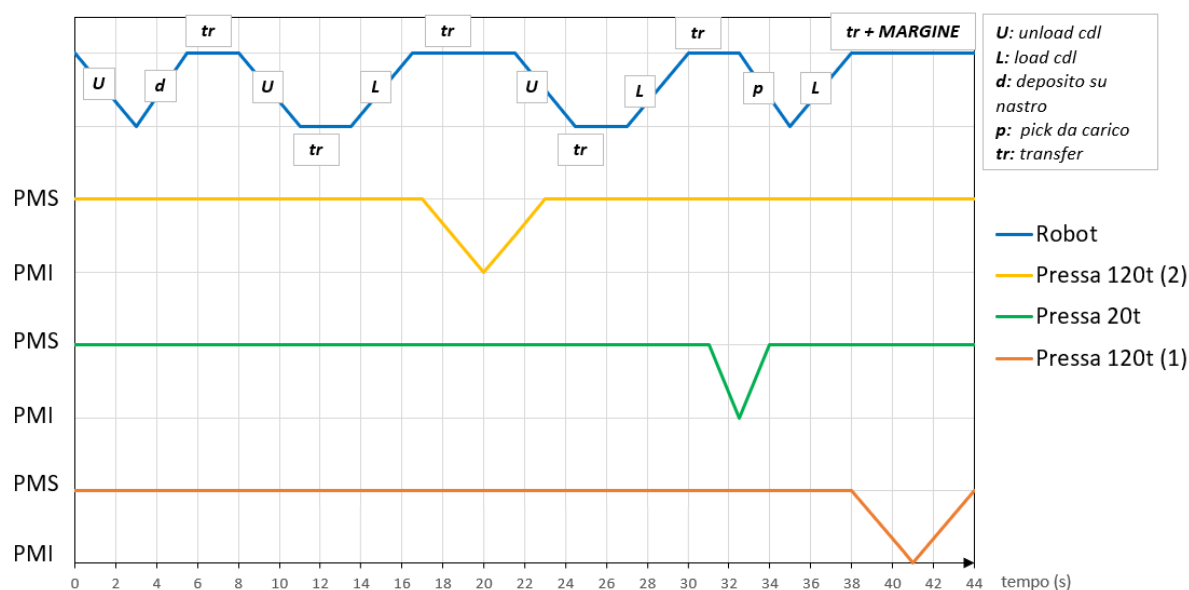


Figura 5.22 – Diagramma delle Fasi della Cella Automatica: Lato A

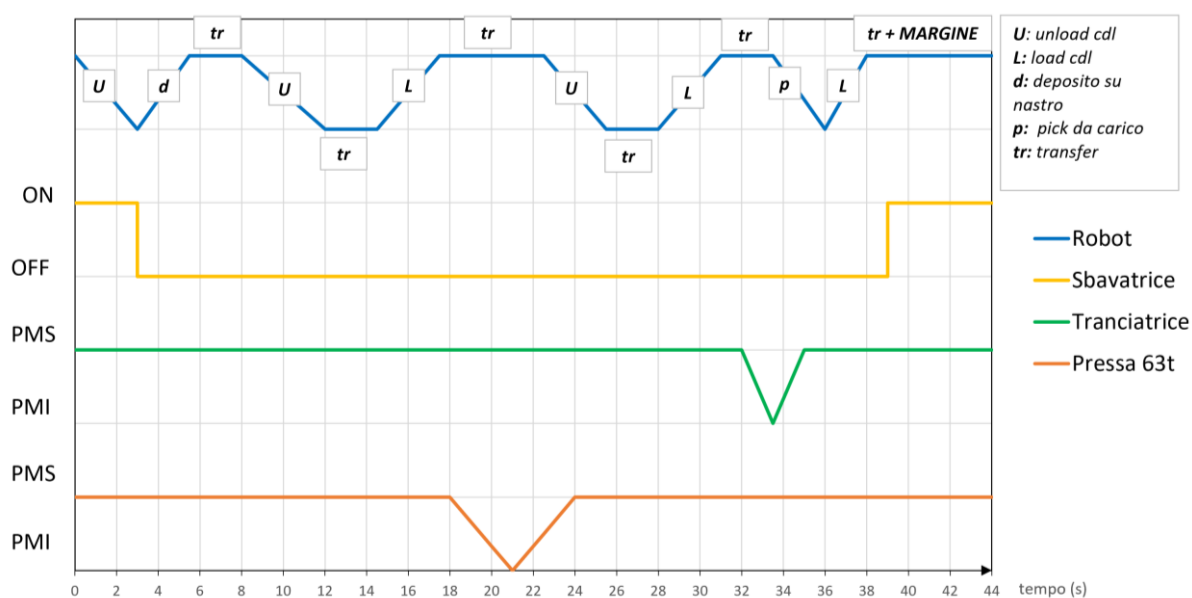


Figura 5.23 – Diagramma delle Fasi della Cella Automatica: Lato B

I parametri cinematici adottati sono:

- **Velocità di traslazione del settimo asse:** 1,5 m/s (conservativa per minimizzare le vibrazioni);
- **Tempo di Pick & Place:** 3 s per ogni operazione di presa o deposito.

Le Figure 5.22 e 5.23, evidenziano che:

- I robot eseguono le traslazioni sul settimo asse o le rotazioni di 180° per l'asservimento dei nastri di carico e di interscambio mentre le macchine sono nella fase operativa, preservando il tempo mascherato;
- Il tempo di *Unload* della stazione di tranciatura è dilatato fino a 6 s per consentire l'evacuazione automatica degli sfridi.

Nonostante la saturazione dei robot prossima al 90%, il sistema mantiene un margine di sicurezza di 4 secondi rispetto al *takt time*. Tale cuscinetto garantisce la stabilità del processo nel lungo periodo, dato che da un lato permette di operare con rampe di accelerazione dolci che riducono le sollecitazioni meccaniche dovute alla massa inerziale dei robot, mentre dall'altro fornisce la flessibilità necessaria per assorbire ritardi legati alla variabilità dei tempi di scarico degli scarti.

Anche in questo caso, lo studio si è concentrato sulla selezione delle tecnologie, sulla definizione delle logiche di integrazione e sull'ottimizzazione del layout planimetrico, con l'obiettivo di dimostrare la fattibilità tecnica della cella automatica. Resta inteso che l'effettiva realizzazione di questa o di altre proposte rimarrà subordinata alle valutazioni strategiche dell'azienda.

5.3.2 Risultato “Fase 2”

L'inserimento della cella nel contesto produttivo è mostrato nella planimetria di reparto riportata in Figura 5.24, mentre il dettaglio degli ingombri e dei riferimenti strutturali è riportato nell'ingrandimento di Figura 5.25.



Figura 5.24 – Planimetria del reparto con integrazione della nuova cella automatica

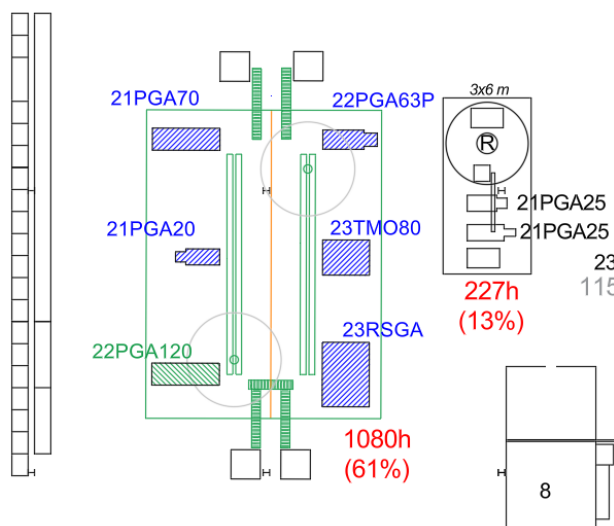


Figura 5.25 – Focus sulla zona operativa: interferenze strutturali e corridoi

L'integrazione garantisce l'efficienza dei flussi logistici senza compromettere la sicurezza degli operatori: è stato previsto il mantenimento di corridoi perimetrali di 3 metri, ridotti a 2 metri nella zona di interfaccia con la linea di produzione adiacente. Tale posizionamento ha però reso necessario lo sgombero dell'area adibita a deposito stampi a terra precedentemente situata di fronte all'ufficio del reparto manutenzione (rif. "8" in Figura 5.25).

Per quanto concerne i vincoli strutturali, il progetto ha dovuto integrare la presenza di due colonne portanti (H in Figura 5.25):

- La prima è stata posizionata all'interno delle recinzioni perimetrali senza interferire con la barriera fotoelettrica. Al fine di azzerare il rischio di impatto, la programmazione dei robot dovrà garantire traiettorie che evitino ogni interferenza con i sistemi circostanti;
- La seconda colonna, situata in prossimità dell'area di carico/scarico al centro della configurazione a "U", viene utilizzata come limite fisico per il posizionamento delle gabbie di semilavorati, ottimizzando lo spazio di manovra sul lato esterno dei nastri trasportatori.

In rosso sono evidenziati gli indici di saturazione che hanno subito variazioni rispetto alla configurazione della "Fase 1". Tale mutamento riflette la redistribuzione del carico di lavoro delle macchine asservite all'automazione, non più utilizzabili singolarmente, sulle restanti unità produttive del reparto.

6 Conclusioni

Il presente lavoro di tesi ha affrontato la sfida di ammodernare il reparto Stampaggio di ALESSI S.p.A. attraverso l'integrazione di logiche di automazione e robotica. L'obiettivo primario è stato armonizzare l'esigenza di una maggiore efficienza operativa, declinata nella riduzione dei *lead time* e nell'ottimizzazione dei costi, con la necessità di preservare l'eccellenza estetica e il patrimonio artigianale del *Made in Italy*, fattori che hanno decretato il successo dell'azienda su scala globale. La ricerca ha perseguito la transizione da un modello produttivo fondato sulla manodopera verso un'architettura di fabbrica più agile, digitalizzata e scalabile, in linea con i paradigmi definiti dall'Industria 4.0.

L'analisi è stata avviata con la mappatura del processo produttivo, dall'ideazione del prodotto alle fasi di lavorazione. Attraverso interviste ai supervisori di reparto e al personale tecnico, sono stati approfonditi i processi di deformazione e taglio della lamiera, focalizzandosi sulle criticità legate all'automazione dei compiti manuali. Lo studio ha evidenziato la forte dipendenza dell'azienda da lavorazioni esterne che frammentano il flusso produttivo, contribuendo significativamente all'estensione del *lead time*. Parallelamente, l'analisi del *layout* di stabilimento e del reparto Stampaggio, condotte tramite *spaghetti charts*, hanno rilevato un'elevata movimentazione interna dei materiali, riconducibile ad una disposizione dei macchinari basata sulla tipologia di lavorazione piuttosto che sull'ottimizzazione dei flussi logistici.

Per l'integrazione dei sistemi automatici, la ricerca ha dunque identificato vincoli significativi. La vasta eterogeneità degli stampi attualmente in uso rappresenta un ostacolo alla flessibilità, incrementando i tempi di attrezzaggio e riducendo di conseguenza la saturazione delle macchine. Inoltre, le tirature limitate dei lotti rischiano di essere evase in tempi assai più rapidi rispetto alla durata di un turno annuale standard. Tuttavia, nonostante tali criticità, l'automazione ha rappresentato una risorsa strategica secondo un duplice approccio: la produzione ad alta intensità per i prodotti *bestseller* e l'adozione di celle automatiche flessibili per la gestione di articoli affini a minor tiratura.

Il confronto tra le soluzioni tecnologiche proposte dai partner esterni ha permesso di valutarne la fattibilità secondo la loro adattabilità ai cicli di lavoro del catalogo ALESSI. La proposta di "SHS Automation & Robotics", pur garantendo prestazioni elevate, ha mostrato criticità in termini di rigidità geometrica e tecnologica tali da comportare rischi operativi superiori ai benefici. Al contrario, la modularità della proposta di "SM System" appare più coerente con l'eterogeneità del mix produttivo, garantendo maggiore resilienza ai fermi macchina e una superiore agilità di riconfigurazione.

Lo studio è poi proseguito sul piano della fattibilità economica attraverso la creazione di un modello decisionale in grado di quantificare il risparmio sul costo della manodopera derivante dall'introduzione di un impianto automatico multi-postazione.

Utilizzando il database aziendale delle ore lavorate nell'anno 2025, sono state identificate le operazioni eseguibili geometricamente e tecnologicamente in maniera efficiente dall'impianto automatico di "SHS Automation & Robotics", utilizzato come *benchmark* in quanto

maggiormente in linea con le volontà dell'ufficio tecnico. Il processo di affinamento del modello ha permesso di minimizzare il numero di operazioni escluse e di quantificare con precisione il risparmio annuo sul costo del lavoro; tale valore, confrontato con la quota di ammortamento decennale, ha infine decretato la sostenibilità economica del progetto subordinata tuttavia all'ottimizzazione dei parametri di velocità di esecuzione da parte del fornitore.

Infine, è stata sviluppata una *roadmap* per l'introduzione progressiva dei nuovi impianti, volta ad assicurare la continuità produttiva. Un'analisi degli indici di saturazione ha permesso di individuare macchine scarsamente impiegate e di procedere a una redistribuzione del carico di lavoro che prevede la dismissione dei macchinari non conformi alla Direttiva Macchine 2006/42/CE, recuperando così spazio in reparto e incrementando la saturazione del parco macchine residuo. La strategia ha previsto, in una prima fase, la realizzazione di una linea automatica per la produzione dei becchi per i bollitori "9093", articolo iconico del *marchio* e ad alta rotazione: un robot antropomorfo, in comunicazione con un sistema di visione, permette di eseguire il *bin picking* dei semilavorati e di introdurli su una linea di presse in grado di svolgere la maggior parte delle operazioni di imbutitura. L'elevata capacità produttiva di questo impianto consente di controllare il *takt time* per preservare l'integrità del prodotto da vibrazioni strutturali. Il piano di ammodernamento si conclude con l'introduzione di una cella automatica di maggiori dimensioni, dedicata ai dieci prodotti di punta. Lo studio dei cicli di produzione ha permesso di identificare il gruppo di macchinari che massimizza la flessibilità; la progettazione del layout invece, ha tenuto conto dell'esigenza di mantenere l'operatività manuale durante la fase di transizione attraverso il distanziamento dei macchinari e la compartimentazione della cella. In questa fase, l'attenzione si è focalizzata sull'ottimizzazione economica oltre che tecnica, mirando alla minimizzazione del costo d'investimento e alla massimizzazione della saturazione.

Sviluppi Futuri

I prossimi passi si focalizzeranno sulla ricerca di partner di integrazione robotica per l'ingegnerizzazione di dettaglio della prima linea automatica e sulla relativa analisi economica, con l'obiettivo di procedere all'installazione entro la fine dell'anno. L'introduzione della cella flessibile è invece subordinata alla verifica di sostenibilità economica e mappatura degli articoli a catalogo processabili dall'impianto di "SM System", nonché all'avvio di una nuova fase di consultazione per ottenere proposte comparabili a quella presentata in questo documento, al fine di selezionare la soluzione ottimale in seguito all'analisi economica.

Considerazioni Finali

In conclusione, il progetto di tesi ha trasformato le istanze preliminari in un piano d'azione tangibile e strutturato. ALESSI S.p.A. dispone oggi non solo di una proposta tecnica, ma di una visione strategica coerente che assicura la continuità della propria storia produttiva in un contesto industriale sempre più automatizzato.

L'automazione dunque, in questo caso, non ha sostituito l'importanza dell'artigianalità del design italiano ma si è dimostrata capace di coesistere con essa e di valorizzarla, consentendo all'azienda di restare competitiva sul mercato globale.

Bibliografia

Alessi S.p.A. (2025). *Bilancio d'esercizio al 31/12/2024*. Documento depositato presso il Registro delle Imprese.

Alessi S.p.A. (2006). *Catalogo dei Prodotti*. Crusinallo: Arti Grafiche Meroni.

Alessi S.p.A. (2025). *Database produzione e reportistica interna (SAP)*. Documentazione tecnica riservata. Crusinallo (VB).

Alessi S.p.A. (2026) *Processo SNP (Sviluppo Nuovo Prodotto), il circolo virtuoso-vizioso*. Presentazione interna dell'Ufficio Tecnico e Marketing. Documentazione tecnica riservata. Crusinallo (VB).

Belforte G. (2019). *Manuale di Pneumatica*. 3^a ed. Milano: Tecniche Nuove.

Caligaris, L., Fava, S. e Tomasello, C. (2015). *Mole*, in *Manuale di Meccanica*. 4^a ed. Milano: HOEPLI.

Caligaris, L., Fava, S. e Tomasello, C. (2015). *Tempi e Metodi*, in *Manuale di Meccanica*. 4^a ed. Milano: HOEPLI.

Callister, W.D. (1999). *Scienza e Ingegneria dei Materiali, Una introduzione*. Edizione italiana a cura di C. Caneva. Napoli: EdiSES.

Campbell, F.C. (2008). *Elements of Metallurgy and Engineering Alloys*. Materials Park, Ohio: ASM International.

Giusti, F. e Santochi, M. (2012) *Tecnologia Meccanica e studi di fabbricazione*. 2^a ed. Milano: CEA.

Groover, M. P. (2020) *Physical Vapour Deposition in Fundamentals of Modern Manufacturing*. 4^a ed. Hoboken: Wiley

Minetola, P. (2025). *Introduction to Additive Manufacturing*. Dispense del corso di Additive Manufacturing Systems and materials. Politecnico di Torino. [online] Disponibile su: <https://www.polito.it/didattica>.

Monte, A. (2003). *Elementi di impianti industriali - volume I*. 4^a ed. Torino: edizioni libreria cortina.

Pastorelli, S. (2024). *01. Introduzione*. Dispense del corso di Dispositivi e Sistemi Robotici. Politecnico di Torino. [online] Disponibile su: <https://www.polito.it/didattica>.

Pastorelli, S. (2024). *11. Pianificazione di Traiettorie*. Dispense del corso di Dispositivi e Sistemi Robotici. Politecnico di Torino. [online] Disponibile su: <https://www.polito.it/didattica>.

Pastorelli, S. (2024). *13. Architetture Robotiche*. Dispense del corso di Dispositivi e Sistemi Robotici. Politecnico di Torino. [online] Disponibile su: <https://www.polito.it/didattica>.

Prino, F. (2024). *Progetto e stima costi di una linea robotizzata per l'asservimento presse nello stampaggio di casalinghi in acciaio*. Tesi di Laurea. Politecnico di Milano.

Ragazzi, E., Falavigna, G. (2022). *Le informazioni per le decisioni: dalla contabilità ordinaria e industriale al bilancio contabile e d'esercizio. Strumenti decisionali per l'impresa. Volume 2.* Torino: CNR-IRCrES. (Itinerari di alta formazione). <http://dx.doi.org/10.23760/978-88-98193-2022-06>.

Ragazzi, E., Calabrese, G., Falavigna, G., Gallea M. (2021). *L'impresa: che cos'è? Visione economica, giuridica e organizzativa. Vol 1. Strumenti decisionali per l'impresa.* Moncalieri: CNR-IRCrES. (Itinerari per l'alta formazione). <http://dx.doi.org/10.23760/978-88-981932021-03>.

Sitografia

Acciai Speciali Terni S. p. A. (2025) *Certificato di Collaudo Acciaio AISI 304L*. [online] Disponibile su: <https://www.acciaiterni.it/mercato-e-prodotti/acciaio-inossidabile/>.

Albasider (2025) *Test Certificate Acciaio DC04*. [online] Disponibile su: <https://albasider.it/laminati-a-freddo/>.

Fanuc Italia. (2024). *Robots, Product Overview*. [online] Disponibile su: <https://www.fanuc.eu/sm-it/gamma-robotica>.

Galdabini S.p.A. <https://www.galdabini.it/it/>.

Il Progettista Industriale. (2017). *Una nuova linea di sistemi meccanici integrati per l'automazione industriale*. [online] Disponibile su: <https://www.ilprogettistaindustriale.it/> [Accesso: 20 marzo 2026].

Keyence Corporation. <https://www.keyence.it>.

Project Manager Europa. (2016). *Master Plan: il progetto dei progetti*. [online] Disponibile su: <https://projectmanagementeuropa.com/master-plan-il-progetto-dei-progetti/> [Accesso: 13 maggio 2026].

SHS Automation & Robotics S.r.l. (2025). *Linea robotizzata per stampaggio imbutiti in acciaio inox. Rif. Offerta n°250725.pdf. Documentazione riservata*. <https://www.shs-automation.com/index.htm>.

SM System S.r.l. (2025). *Concept linea di stampaggio flessibile. Rif. Offerta budget per linea stampaggio.pdf. Documentazione riservata*. <https://sm-system.it/>.

Thomson Linear. (2017). *Unità di trasferimento robotica industriale*. [online] Disponibile su: <https://www.thomsonlinear.com/it/prodotti/robot-transfer-units/industrial-7th-axis#overview> [Accesso: 26 marzo 2026].

Ringraziamenti

Il primo ringraziamento va al **Politecnico di Torino** per la solida formazione ricevuta in questi anni. Questo Ateneo mi ha insegnato che ogni grande problema può sempre essere scomposto in parti più semplici, fornendomi potenti strumenti per risolverle. Il percorso di studi mi ha aiutato a comprendere quali rami mi appassionano di più ed ha evidenziato quanto sia importante per me coniugare la teoria con la pratica applicativa. Dal rapporto con i docenti ho maturato che tipo di professionista desidero diventare: una figura capace di relazionarsi con i colleghi con rispetto, affinché si possa instaurare il dialogo e sia valorizzato il contributo di ognuno. In questi anni ho capito che il valore di una persona non è determinato dal voto di un esame o di laurea, spesso frutto di eventi che sfuggono al nostro controllo; ho imparato così che il percorso di ogni studente è unico e paragonarlo a quello degli altri è controproducente.

Ringrazio il **Professor Maurizio Schenone** per aver riposto la sua fiducia in me, dandomi l'opportunità di intraprendere questo tirocinio. Lo ringrazio sinceramente per la sua presenza, per la straordinaria tempestività nel rispondere a ogni mio dubbio e per il prezioso supporto, anche emotivo, che ha più volte dimostrato durante la stesura di questo elaborato.

Un sincero grazie va a **Giancarlo Chirulli** per avermi permesso di fare esperienza all'interno di una realtà così rilevante e stimata a livello internazionale quale è ALESSI S.p.A. e aver riposto in me la sua fiducia fin da subito. Non mi ha mai lasciato solo: ho potuto interagire con tutto il personale operativo, formarmi e mettermi in gioco nella stesura di un vero programma di lavoro pluriennale aziendale. Ha sempre supervisionato il mio operato in ufficio tecnico, coinvolgendomi in alcune sue mansioni e mostrandosi disponibile nel confrontarsi, consigliarmi e rivedere insieme il testo della tesi. Sono grato di aver trovato una figura così autorevole.

In modo speciale ringrazio **Alessio Dileo**, perché mi ha insegnato moltissimo non solo dal punto di vista tecnico, sulla progettazione dello stampaggio e sulla ricerca del miglioramento continuo, ma anche attraverso il suo inesauribile impegno, scaturito dal profondo legame con la tradizione storica e il prestigio dell'azienda. Non è stato un semplice collega, ma una spalla e un amico.

Accanto a lui, ci tengo a ringraziare i **miei colleghi** più giovani perché mi hanno fatto sentire parte del gruppo fin da subito, senza mai lasciarmi solo: ringrazio Davide per aver creduto in me durante la fase di colloquio, Gianmaria per aver messo a mia disposizione una casa in affitto ad Omegna e Matteino per il suo carisma. Un grazie a Giada, Carlotta, Margherita, Giulia e a tutti i colleghi "veterani" - Walter, Carlo, Molt, Giorgio e Dario - che hanno condiviso con me parte del loro lavoro. Mi avete insegnato quanta cura si possa mettere nella realizzazione di un prodotto di design. Sono davvero felice di aver contribuito in modo concreto alla vostra realtà.

Un ringraziamento speciale lo voglio dedicare ai miei professori dell'I.T.I.S. Pininfarina. Ringrazio il **Professor Alborelli** per avermi trasmesso l'importanza del rapporto con le aziende per crescere dal punto di vista professionale e per avermi insegnato a mantenere sempre l'attenzione sul processo e sulla tecnologia di ciò che si progetta.

Ringrazio il **Professor Todaro**, il **Professor Torchio**, il **Professor Catalano**, la **Professoressa Chiarabaglio** e la **Professoressa Rua**: mi avete trasmesso la passione per le vostre materie, insegnandomi i fondamenti della meccanica, dell'elettronica e dell'inglese tecnico. Tutto questo non solo mi ha semplificato il percorso universitario, ma mi ha dimostrato quanto gli studi tecnici siano fondamentali per un ingegnere. Se non fosse stato per il vostro immenso senso pratico e il vostro inesauribile impegno nel tramettermi questi valori, io non avrei affrontato il *“mondo pieno di squali”* con questa serenità professionale. In questo *“contenitore”* chiamato laurea ci siete anche voi. Grazie mille professori.

Il ringraziamento più intimo e necessario va alla mia **mamma Cinzia**, al mio **papà Aldo** e alla mia sorellina **Chiara**: avete vissuto con me ogni momento, giorno dopo giorno. Credendo in me nei tanti momenti di frustrazione siete stati una presenza costante, sempre pronti a darmi un consiglio – che poi si sarebbe rivelato quello giusto – e per farmi capire che avevo tutte le capacità per affrontare questa laurea, senza la fretta di arrivare al traguardo. Avete sostenuto la mia intraprendenza nel lanciarmi in un tirocinio così distante da voi, superando con il vostro affetto la mia lontananza da casa. Supportandomi e sopportandomi, vi siete donati totalmente e io non posso che esservene infinitamente grato.

Un profondo ringraziamento va a **Gabriele**, il mio compagno di banco che mi ha sempre spinto a non mollare, la spalla che mi ha accompagnato e con cui ho vissuto gli anni più belli di questo laurea. Ti sei sempre interessato al mio percorso, anche quando hai iniziato a lavorare e il tuo punto di vista e i tuoi consigli sono sempre stati importanti per me. Senza di te sarei stato solo: molti altri si sono avvicendati ma solo tu sei rimasto, investendo in questa amicizia, e di questo ti sono profondamente grato.

Infine, ringrazio **Eric**, **Claudia**, **Annie**, **Aurora**, **Mattia**, **Riccardo**, **Alessia** e **Matteo**. Compagni dell'I.T.I.S. e amici fidati, in questi anni universitari siete stati la mia vita fuori dagli studi: una presenza certa per ridere, scherzare, festeggiare e condividere esperienze. Anche se ora le nostre vite stanno prendendo strade diverse, vi voglio bene e vi sono grato per tutti i momenti indimenticabili che abbiamo vissuto insieme.

Questo percorso è stato un viaggio fatto di salite ripide e pianure accoglienti. A chiunque si sia affiancato, va il mio grazie per aver condiviso anche solo un breve tratto e avermi lasciato un pezzo di sé. Nel silenzio dei miei passi, sono cresciuto ed ora sono pronto per affrontare la prossima avventura.