



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
FACOLTA' DI INGEGNERIA

—
Dipartimento di Ingegneria Industriale
Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

**SVILUPPO DI SISTEMI AUTOMATIZZATI PER L'INDUSTRIA
ALIMENTARE: L'UTILIZZO DI ROBOT PER OTTIMIZZARE LA
PRODUZIONE DI PROSCIUTTI CRUDI**

**AUTOMATED FOOD INDUSTRY SYSTEMS DEVELOPMENT: USING
ROBOTIC SYSTEMS TO OPTIMIZE RAW HAMS PRODUCTION**

RELATORE: CH.MO PROF.ALESSANDRO PERSONA

LAUREANDO: NICOLO' BERTEOTTI

ANNO ACCADEMICO 2019/2020

Ringraziamenti

Ai miei genitori..

A mio fratello..

A Emanuele Gigli di Pulsar Industry..

Sommario

INDICE TABELLE:	6
Obiettivo:	8
1.Introduzione:	9
1.1 Il progetto	9
1.2 Modalità di svolgimento:.....	9
1.3 Strumenti utilizzati	10
2.1 Tempo ciclo e produttività	12
2.2 Tecniche di rilevamento tempi.....	15
2.3 Sistemi a cadenza imposta.....	23
2.4 Analisi costi/benefici.....	26
2.6 Ergonomia	34
3.Illustrazione del CASE STUDY:	36
3.1 Panoramica introduttiva	36
3.2 Descrizione del processo produttivo	37
4. Svolgimento	43
4.1 Ciclo delle precedenze.....	43
4.2 Impianto con operatore singolo.....	44
4.2.1 Dimensionamento dell'impianto e rilevamento tempi	44
4.2.2 Alternativa di dimensionamento.....	55
4.2.3 Analisi costi	57
4.3 Impianto con operatori in parallelo	72
4.3.1 Dimensionamento dell'impianto e rilevamento tempi	72
4.3.2 Analisi costi	87
4.4 Impianto con robot	99
4.4.1 Il robot	99
4.4.2 Dimensionamento dell'impianto e rilevamento tempi	113
4.4.3 Analisi costi	127

4.5 Confronto tra gli impianti.....	137
5. Conclusioni	140
6. Bibliografia.....	141

INDICE FIGURE :

Figura 1 : Pulsar Industry e l'intelligenza artificiale.....	11
Figura 2 : : Grafico probabilità di mancato completamento	17
Figura 3 : : Figura rappresentativa dell'algoritmo di scelta delle attività con Kottas-Lau	25
Figura 4 : Costi e valutazioni impianto industriale.....	27
Figura 5 : Grafico costi diretti-indiretti e variabili-fissi.....	30
Figura 6 : Ciclo delle precedenze relativo all'impianto oggetto di studio	43
Figura 7 : Layout dell'intero stabilimento	44
Figura 8 : : Layout parziale delle stazioni A+B+C	44
Figura 9 : : Layout parziale delle stazioni D+E	45
Figura 10 : Layout parziale delle stazioni F+G+H+I+L+M+N	45
Figura 11 : Bilanciamento stazioni A+B+C.....	53
Figura 12 : Bilanciamento stazioni D+E+F	53
Figura 13 : Bilanciamento stazioni G+H+I.....	54
Figura 14 : Bilanciamento stazioni L+M+N.....	54
Figura 15 : Bilanciamento alternativo stazioni A+B+C	55
Figura 16 : Bilanciamento alternativo stazioni D+E+F	56
Figura 17 : Bilanciamento alternativo stazioni G+H	56
Figura 18 : Bilanciamento alternativo stazioni I+L	57
Figura 19 : Grafico analisi costi.....	71
Figura 20 : Bilanciamento stazioni A+B+C+D con operatori in parallelo	72
Figura 21 : Bilanciamento stazioni E+F+G+H con operatori in parallelo.....	73
Figura 22 : Bilanciamento stazioni I+L+M+N con operatori in parallelo	73
Figura 23 : Layout completo impianto con operatori in parallelo	74
Figura 24 : Layout parziale impianto con operatori in parallelo stazioni A+B+C	74
Figura 25 : Layout parziale impianto con operatori in parallelo stazioni D+E.....	75
Figura 26 : Layout parziale impianto con operatori in parallelo stazioni F+G+H.....	75
Figura 27 : Layout parziale impianto con operatori in parallelo stazioni I+L+M+N	76

Figura 28 : Grafico analisi costi.....	99
Figura 29 : Disegno 3D del prototipo di robot.....	102
Figura 30 : Disegno 3D del prototipo di robot, vista laterale	103
Figura 31 : Quote delle corse verticali e orizzontali del robot.....	104
Figura 32 : Quota di ingombro massimo del robot durante la rotazione	105
Figura 33 : Profilo triangolare della velocità in funzione del tempo per la rotazione.	107
Figura 34 : Profilo trapezoidale della velocità in funzione del tempo per la traslazione verticale. .	109
Figura 35 Catalogo delle caratteristiche delle pulegge di trasmissione	111
Figura 36 : Layout completo dell'impianto con i robot nelle stazioni di carico/scarico	113
Figura 37 : Layout parziale dell'impianto stazioni A+B+C	114
Figura 38 : Layout parziale dell'impianto stazioni D+E.....	114
Figura 39 : Schematizzazione del nastro a monte dei piani di carico/scarico e dei piani di carico/scarico impilati.	115
Figura 40 : Layout parziale dell'impianto stazioni F+G+H.....	116
Figura 41 : Layout parziale dell'impianto stazioni I+L+M+N	116
Figura 42 : Bilanciamento stazioni A+B+C+D con operatori in parallelo e robot.....	117
Figura 43 : Bilanciamento stazioni E+F+G+H+I con operatori in parallelo e robot.....	117
Figura 44 : Bilanciamento stazioni L+M+N con operatori in parallelo.....	118
Figura 45 : Grafico analisi costi.....	137

INDICE TABELLE:

Tabella 1 : Rilevazione tempi attività di ricevimento con singolo operatore	46
Tabella 2 : Rilevazione tempi attività di mondatura con singolo operatore	47
Tabella 3 : Rilevazione tempi attività di salatura con singolo operatore	47
Tabella 4 : Rilevazione tempi attività di carico prosciutti con singolo operatore.....	48
Tabella 5 : Rilevazione tempi attività di scarico prosciutti con singolo operatore	48
Tabella 6 : Rilevazione tempi attività di salatura con singolo operatore	49
Tabella 7 : Rilevazione tempi attività di carico prosciutti con singolo operatore.....	49
Tabella 8 : Rilevazione tempi attività di scarico prosciutti con singolo operatore	50
Tabella 9 : Rilevazione tempi cabina di toelettatura con singolo operatore	50
Tabella 10 : Rilevazione tempi attività di toelettatura con singolo operatore	51
Tabella 11 : Rilevazione tempi attività di legatura con singolo operatore.....	51
Tabella 12 : Rilevazione tempi attività di appendimento con singolo operatore.....	52

Tabella 13 : Tabella analisi costi per impianto con singoli operatori	59
Tabella 14 : Tabella standardizzata su distribuzione normale	61
Tabella 15 : Rilevazione tempi attività di ricevimento con operatori in parallelo.....	77
Tabella 16 : Rilevazione tempi attività di mondatura con operatori in parallelo.....	78
Tabella 17 : Rilevazione tempi attività di salatura con operatori in parallelo	78
Tabella 18 : Rilevazione tempi attività di carico prosciutti con operatori in parallelo	79
Tabella 19 : Rilevazione tempi attività di scarico prosciutti con operatori in parallelo	80
Tabella 20 : Rilevazione tempi attività di salatura con operatori in parallelo	81
Tabella 21 : Rilevazione tempi attività di carico prosciutti con operatori in parallelo	82
Tabella 22 : Rilevazione tempi attività di scarico prosciutti con operatori in parallelo	82
Tabella 23: Rilevazione tempi cabina di toelettatura con operatori in parallelo	83
Tabella 24 : Rilevazione tempi attività di toelettatura con operatori in parallelo.....	84
Tabella 25 : Rilevazione tempi attività di legatura	85
Tabella 26 : Rilevazione tempi attività di appendimento	85
Tabella 27 : Tabella di analisi costi per impianto con operatori in parallelo.....	87
Tabella 28 : Rilevazione tempi attività di ricevimento con operatori in parallelo e robot	119
Tabella 29 : Rilevazione tempi attività di mondatura con operatori in parallelo e robot	119
Tabella 30 : Rilevazione tempi attività di salatura con operatori in parallelo e robot	120
Tabella 31 :Stima tempi robot.....	120
Tabella 32 : : Stima tempi robot.....	121
Tabella 33 : Rilevazione tempi attività di salatura con operatori in parallelo e robot	121
Tabella 34 : Stima tempi robot.....	122
Tabella 35 : Stima tempi robot.....	122
Tabella 36 : Rilevazione tempi cabina di toelettatura con operatori in parallelo e robot	123
Tabella 37 : Rilevazione tempi attività di toelettatura con operatori in parallelo e robot.....	123
Tabella 38 : Rilevazione tempi attività di legatura con operatori in parallelo e robot.....	124
Tabella 39 : Rilevazione tempi attività di appendimento con operatori in parallelo e robot.....	125
Tabella 40 : Tabella analisi costi per impianto con operatori in parallelo e robot.....	127

Obiettivo:

L'obiettivo della trattazione consiste nello studio di fattibilità di un sistema di produzione innovativo al fine di dimostrare quanto l'integrazione di robot nel sistema di produzione porti dei significativi miglioramenti in termini di produttività, di efficienza, di minimizzazione degli scarti e di ottimizzazione dei costi. Il tirocinio della durata complessiva di 4 mesi è stato fatto presso l'azienda Pulsar Industry srl, azienda leader nel settore dell'automazione e specializzata nel campo alimentare, con sede a Spilamberto di Modena. La ricerca è stata commissionata da un prosciuttificio di Parma che cercava una soluzione innovativa al fine di incrementare la produttività cercando di ridurre contemporaneamente i tempi ciclo e l'inefficienza. Questa tesi ha l'obiettivo quindi di dimostrare come l'integrazione di robot a fianco della manodopera sia il perno dell'industria 4.0, la quale consente altissimi rendimenti produttivi e utilizza macchine per i lavori più ripetitivi e rischiosi; permettendo così di ottimizzare le prestazioni ma anche alleggerendo gli operatori da mansioni alienanti e nocive in modo da poter essere utilizzati in altri lavori nei quali la capacità umana risulta necessaria e imprescindibile.

1.Introduzione:

1.1 Il progetto

Il progetto che si svolge nelle pagine seguenti è incentrato sullo studio di uno stabilimento di prossima realizzazione. Questo stabilimento dovrà produrre prosciutti crudi, destinati sia al mercato italiano che all'export in tutto il mondo. Il processo produttivo in esame parte dalla fase di ricevimento del prodotto fresco, passa per le sue fasi intermedie di primo e secondo sale per poi arrivare alla stagionatura finale del prodotto che è l'ultimo passo prima della vendita al dettaglio. Nei capitoli successivi verranno descritti tutti i procedimenti nel dettaglio. Nello studio seguente si è cercato di analizzare i vantaggi e gli svantaggi degli stabilimenti tradizionali sotto l'aspetto produttivo, dell'efficienza e dei costi per poi andare a ricercare una soluzione che ottimizzi tali parametri. Fondamentale nell'analisi è il concetto di industria 4.0 ovvero di industria incentrata sulla collaborazione uomo-macchina. La soluzione studiata infatti riguarda uno studio di fattibilità su un prototipo di robot e su come il suo inserimento nella linea di produzione possa incidere su diversi fattori quali produttività, riduzione dei lead time, ottimizzazione dell'efficienza e riduzione dei costi.

1.2 Modalità di svolgimento:

La trattazione parte con una breve panoramica relativa al processo produttivo e di stagionatura dei prosciutti crudi. Verranno descritte tutte le fasi e i processi che concorrono alla realizzazione del prodotto. Entrando nello svolgimento vero e proprio si elaborano i dati forniti dal cliente e si cercano dei dati di confronto da stabilimenti analoghi poiché questo, essendo uno studio di fattibilità per uno stabilimento nuovo, non possiede archivi o software di gestione della produzione. Per analizzare i tempi ciclo e la produttività di uno stabilimento tradizionale sono stati usati dei filmati di stabilimenti in esercizio durante i loro processi e nelle loro varie lavorazioni. Dai filmati mediante l'utilizzo di tecniche cronometriche abbiamo ricavato dei dati di partenza per poter fare un dimensionamento preliminare dell'impianto e poter poi confrontare la soluzione trovata con dei parametri ricavati da stabilimenti in effettivo funzionamento. Dopo aver estrapolato i dati si cerca di dimensionare le varie stazioni, ovvero di assegnare dei tempi per ogni attività. Nel processo produttivo non tutte le stazioni saranno oggetto di studio perché alcune di esse, come verrà spiegato

successivamente, sono costituite interamente da macchinari che svolgono precise lavorazioni e che hanno dei loro tempi prestabiliti. Al fine della ricerca di strumenti volti al miglioramento della produzione queste stazioni non sono importanti poiché come vedremo i colli di bottiglia sono costituiti dalle stazioni con operatori. La nostra analisi quindi prende in considerazione tutte le stazioni manuali e, dopo averne valutato i tempi congiuntamente ai costi e benefici, cercherà di ottimizzare tutto il processo inserendo dei robot progettati ad hoc per svolgere determinate mansioni.

1.3 Strumenti utilizzati

Il lavoro è stato svolto presso l'azienda utilizzando due software Cad di modellazione: Autocad e Inventor. Con Autocad si è realizzato il layout dell'impianto in 2D con la rappresentazione delle stazioni in modo da poterne valutare ingombri e disposizioni. Successivamente alla fase di offerta preliminare fatta con Autocad si è passati allo sviluppo del prototipo di robot e si è utilizzato Inventor che permette di lavorare in 3D. Si è potuto così realizzare un prodotto molto verosimile in modo da far capire con chiarezza al cliente cosa è stato offerto e poterne constatare visivamente le caratteristiche e la struttura. Senza modellatore 3D diventa più difficile formulare offerte di prodotti innovativi al cliente perché non si riesce ad avere cognizione effettiva della proposta e si fa più fatica a fare delle valutazioni, soprattutto in casi come questo dove si parla di investimenti elevati.

1.4 Presentazione dell'azienda

L'azienda presso cui è stato svolto il tirocinio è Pulsar Industry s.r.l.. Pulsar industry è un'azienda leader nel settore dell'automazione industriale, è specializzata nel settore alimentare in particolare nel settore della lavorazione della carne e collabora coi più grandi produttori italiani e esteri tra i quali troviamo il gruppo Beretta, Amadori, Rovagnati, Bonterre, Pac2000A, AIA, Simonini e tanti altri. Con oltre cinquanta dipendenti tra progettisti, ingegneri e tecnici sviluppa e commercializza soluzioni innovative destinate ad ogni tipo di reparto



produttivo. L'azienda sviluppa proposte basate su un altissimo livello di automazione al fine di aumentare vertiginosamente la produttività e l'efficienza dell'impianto. Il punto di partenza della filosofia dell'azienda è l'industria 4.0 : nel settore alimentare sono presenti rigorosi controlli di qualità e tracciabilità; Pulsar Industry ha sviluppato così soluzioni con robot e macchinari di diverso genere in grado di comunicare tra di loro e di inviare feedback al gestionale di produzione Dynamic, fiore all'occhiello dell'azienda, che assimila e sviluppa i dati ricevuti compiendo diverse funzioni permettendo di gestire l'impianto in tempo reale in tutti i suoi aspetti e di poterlo così ottimizzare andando a migliorare le zone critiche di produzione attraverso ad esempio gli indici OEE. Concetto fondamentale quindi è l'intelligenza artificiale ovvero di machine learning che permette di avere a disposizione nello stabilimento il miglior gruppo di lavoro possibile al fine di ottimizzare produttività, guadagni e qualità. Tale concetto si basa sull'esperienza e sul bagaglio di conoscenze di un operatore il quale risulta difficile da trasferire e da replicare in tutti gli stabilimenti in maniera uguale e in postazioni diverse. L'idea sviluppata quindi consiste nel trasferire tale esperienza e memoria nelle macchine portando così negli stabilimenti nuovi un modello di profilo ideale customizzato in funzione delle esigenze di clienti diversi.



Figura 1 : Pulsar Industry e l'intelligenza artificiale

2. Richiami di teoria

2.1 Tempo ciclo e produttività

I due termini ricorrenti nello sviluppo di impianti industriali sono il tempo ciclo e la produttività: il tempo ciclo è il tempo medio necessario per la lavorazione di un pezzo. Questo tempo viene determinato dopo un'analisi dettagliata di ogni singola operazione e dopo la compilazione di un foglio di analisi di operazione. Ogni operazione di produzione di un prodotto è costituita da fasi o stazioni e per ognuna di esse viene calcolato, rilevato o preventivato, attraverso diverse metodologie a seconda del tipo di attività, il tempo necessario per eseguirla. Si arriva così a determinare il tempo dell'operazione T_1 . La somma dei tempi delle varie operazioni che concorrono alla produzione del pezzo è il tempo ciclo T_c .

$$T_c = T_1 + T_2 + T_3 + T_n$$

Conoscendo così i tempi delle singole operazioni posso programmare la produzione e determinarne i costi. Tecnicamente la definizione di tempo dell'operazione è: “ il tempo di operazione è il tempo impiegato computato tra l'istante in cui il pezzo da lavorare viene prelevato e quello in cui, terminata l'operazione e deposto il pezzo, l'operatore si accinge a prelevarne un altro”. Da questa definizione è chiaro e semplice poter suddividere il tempo di operazione in tre sottocategorie:

- a) tempo necessario per l'azione manuale di prelievo e posizionamento del pezzo
- b) tempo necessario per eseguire le lavorazioni richieste nell'operazione
- c) tempo necessario per togliere il pezzo dalla stazione

Alcuni di questi tempi sono considerati attivi mentre altri sono passivi. I tempi attivi sono quelli dove viene svolta effettivamente la lavorazione mentre quelli passivi sono i tempi necessari alla preparazione del tavolo di lavoro e al posizionamento del pezzo e alla fase di rimozione del pezzo dalla stazione di lavoro. Nei tempi passivi non ho avanzamento della produzione. Nel foglio di analisi operazione quindi possiamo trovare diverse voci relative ai tempi che contribuiscono a

determinare il tempo dell'operazione. Si suddividono in tempi in cui è previsto l'intervento dell'operatore e tempi in cui non è previsto:

- Tempo accessorio = tempi in cui avvengono interventi manuali in cui la macchina può essere ferma o in movimento
- Tempo operatore mentre la macchina lavora in maniera automatica = molto spesso sono tempi in cui l'operatore svolge operazioni di controllo.
- Tempo di lavorazione con avanzamento manuale = necessari con macchine che lavorano in maniera automatica ma che necessitano dell'intervento dell'operatore per l'avanzamento.
- Tempi di macchina con avanzamento automatico = il tempo in questo caso è dato dal passo tra un prodotto e l'altro sulla velocità di avanzamento. $T = \text{passo} / \text{velocità}$
- Tempo per preparare la macchina = Questo tempo è da considerarsi solo quando in una linea cambia il prodotto da produrre e quindi si necessita di un tempo di riassetto della stazione e di lettura dei disegni del pezzo.

Non tutti questi tempi si possono rilevare tramite leggi fisiche, alcuni quindi verranno rilevati in maniera diretta altri invece tramite preventivazione utilizzando delle tabelle standard (M.T.M , Method Time Measurement) stilate appositamente in funzione dei movimenti da fare nella specifica operazione. Le diverse tecniche di rilevamento e M.T.M verranno approfondite nel capitolo successivo. Il tempo ciclo determina la produttività dell'impianto :

$$\text{Produttività} = 60 / T_c \text{ (Pz/ h)}$$

I due parametri su cui è necessario lavorare per ottimizzare la produttività sono quindi il tempo ciclo e il ciclo di assemblaggio. Il ciclo di assemblaggio è la sequenza delle attività che concorrono alla produzione del prodotto finito. Fondamentale per capire quali attività si eseguono. Si parte dai semilavorati e dalle materie prime. Occorrono gli esplosi dei componenti

per poter disporre delle informazioni necessarie per il montaggio. Dagli esplosi si stilano le distinte base le quali descrivono come sono assemblati i pezzi.

Nel diagramma possiamo vedere che la sequenza di montaggio non è definita anche se l'ordine di montaggio di alcune attività è obbligato. Si crea così un ciclo delle precedenze che evidenzia le relazioni che intercorrono tra le attività. Come si vede alcune attività sono indipendenti tra di loro, altre invece non possono essere svolte se prima non sono state completati tutti i suoi predecessori. Scelta dunque un'attività, si capiscono immediatamente i suoi predecessori e i suoi successori. Tale ciclo è dettato dal progettista ed è abbastanza arbitrario. Devo assegnare ad ogni stazione le attività in base al tempo ciclo e in base alle precedenze. Per definire il sito di assemblaggio devo conoscere il ciclo delle precedenze e il tempo ciclo sempre però rispettando le sequenze predefinite. Ogni attività è caratterizzata da un proprio ciclo di assemblaggio, obiettivo è definire un ciclo unico per poi dimensionare e bilanciare il sistema. Il dimensionamento ha come obiettivo la scelta ottimale del numero di stazioni, è quindi un bilanciamento dell'impianto. Bilanciare l'impianto significa assegnare le attività alle stazioni in modo che ogni stazione abbia circa lo stesso tempo ciclo delle altre.

Il numero di stazioni teorico sarà dato da :

$$N^{\circ}\text{stazioni} = \sum_j T_j / T_c$$

con T_j il tempo per eseguire l'attività j-esima.

Se le attività non sono distribuite equamente e quindi se l'impianto non è dimensionato in maniera adeguata si parla di sbilanciamento, ovvero di differenza di carico di lavoro sulle stazioni. La produttività massima quindi è legata a un corretto dimensionamento dell'impianto ed è legata al T_c min.

Il bilanciamento va ad equilibrare i TK delle varie stazioni e quindi si lavora al tempo massimo della stazione vincolante l'intero ciclo. Ovviamente bilanciando il sistema correttamente il tempo che massimizza la produttività è il tempo di ciclo minimo che si ottiene. Il tempo di ciclo che va preso in considerazione è quello più alto ovvero più penalizzante delle varie stazioni. Infatti quello risulta il collo di bottiglia e si è sicuri che se in quel tempo si riesce a completare l'attività che richiede più tempo sicuramente anche le altre attività dell'impianto saranno completate.

$$\text{Produttività max} = 3600 / T_c \text{ max}$$

2.2 Tecniche di rilevamento tempi

L'operazione di rilevamento dei tempi e delle metodologie con cui questi sono stati determinati e calcolati ricopre un ruolo fondamentale nel processo produttivo. Si inserisce nella prima fase ovvero quella relativa alla fattibilità ma si ritrova poi nei software di gestione della produzione e nei dimensionamenti di varie componenti della linea automatizzata. Ad esempio conoscere i tempi con cui un prodotto esce dal nastro trasportatore o il tempo che intercorre tra un pezzo e il successivo serve per ricavare le velocità a cui dovrò far andare la linea e quindi la utilizzerò per dimensionare i vari motori. Nello studio di fattibilità dopo aver ottenuto i tempi che caratterizzano l'impianto e dopo aver assegnato a ogni stazione il suo tempo caratteristico posso individuare il tempo ciclo e vedere quali sono le stazioni collo di bottiglia della mia produzione dove posso andare ad agire per ottimizzare le performance dell'impianto. In certi tipi di aziende esistono persino uffici dedicati a questa operazione dove vengono svolti degli studi necessari a fabbricare un determinato tipo di prodotto ottimizzando i tempi che significa spesso riducendo di conseguenza i costi. Abbiamo visto nel paragrafo precedente che ci sono dei metodi diretti e indiretti per rilevare i tempi delle varie operazioni. Andando più nello specifico vediamo che essenzialmente esistono tre metodi, ognuno con specifiche applicazioni:

- a) Work Sampling
- b) Tecniche cronometriche
- c) Tempi predeterminati

Si stima il tempo di esecuzione, la differenza tra le ultime due tecniche consiste nel fatto che se un pezzo è innovativo non posso conoscere dei tempi predefiniti quindi confronto il tempo con uno analogo.

a) WORK SAMPLING

A volte non è necessario conoscere il tempo esatto ma basta avere un'idea di esso per poter eseguire l'assemblaggio. Il Work Sampling serve a fare un campionamento delle attività sulla base di osservazioni ad intervalli di tempo ritenuti adeguati al tipo di attività. Sulla base di osservazioni stimo il tempo di esecuzione di ogni attività. Il Work Sampling non è adatto per misurazioni di attività con periodi brevi. Attraverso osservazioni istantanee stimo le percentuali di tempo dedicato a ciascuna attività che desidero osservare. Si lavora sempre su ogni singolo operatore e si può utilizzare in contesti diversi di applicazione: lo posso usare in fase di produzione per i setup, guasti e mancanza di materiale; lo posso usare in logistica per carico e scarico della merce dai camion,

controllo qualità , prelievo, deposito, assemblaggio per montaggio di un gruppo idraulico ad esempio e tantissimi altri campi. Come detto in precedenza si osservano macroattività di lunga durata.

Più è alto il numero di osservazioni più la stima sarà verosimile.

$$P_{n, \alpha} = \binom{n}{\alpha} P^{\alpha} (1 - P)^{n - \alpha}$$

La formula sopra esprime la probabilità che su n rilevamenti ci siano alfa eventi, nota la singola probabilità P che capiti l'evento alfa su un rilevamento. Se la probabilità P è abbastanza lontana da 0 e da 1 allora la binomiale è approssimata da una Gaussiana.

P' = probabilità dedotta sperimentalmente , rilevata su un campo di rilevazioni pari a α/n :

$$\frac{\alpha}{n} = \frac{\text{numero di rilevazioni in cui è capitato l'evento}}{\text{numero di rilevazioni totali}}$$

$$\text{deviazione standard} = \left(p (1 - p') / (n - 1) \right)^{1/2}$$

$$\text{Prob} (P' - 2\text{dev.st} < P < P' + 2\text{dev.st}) = 95 \%$$

Probabilità di mancato completamento

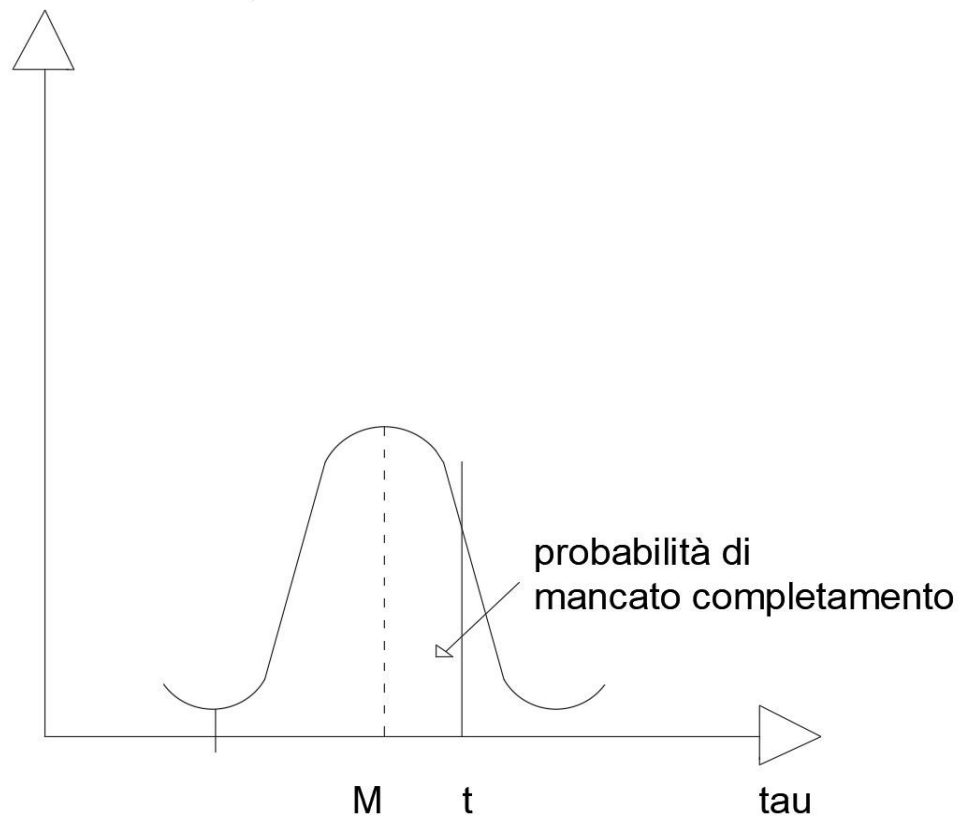


Figura 2 : : Grafico probabilità di mancato completamento

b) TECNICHE CRONOMETRICHE

Il rilievo diretto consiste in una cronotecnica: si rileva più volte il tempo necessario per eseguire l'attività e questo può essere fatto direttamente o tramite ripresa televisiva. Rilevando più volte la stessa attività fatta dallo stesso operatore o da operatori diversi si nota una differenza di tempi nel fare la stessa operazione ed è quindi possibile capire il concetto di efficienza. L'efficienza è legata a molti fattori: all'abilità dell'operatore, alla stanchezza dell'operatore, all'abitudine dell'operatore a svolgere una determinata mansione. Il concetto su cui si basano queste tecniche è che il tempo necessario a svolgere un'attività T_a è correlato all'efficienza con cui quell'attività viene svolta:

$$T_a \times \text{Efficienza} = \text{cost.}$$

Valutare l'efficienza con cui viene svolta un'attività non è sempre un compito facile ed è assegnato a chi svolge l'analisi dei tempi, il quale deve avere un bagaglio di esperienza che assieme a tabelle

di rendimento e altri strumenti idonei permetta di stabilire l'efficienza massima con cui un'operazione può essere svolta. Partendo dall'efficienza massima posso quindi impostare un grado di efficienza normale al quale l'operatore deve lavorare in continuo.

Quindi essendo

$$T_a \times \text{Eff.} = \text{cost}$$

ricavo:

$$T_{\text{normale}} \times \text{Eff. normale} = T_{\text{min}} \times \text{Eff. Max}$$

cioè minimizzo il tempo se lavoro con il massimo di efficienza. Da studi di medicina del lavoro si è stabilito che il rapporto ottimale tra l'efficienza massima e quella normale dev'essere di $\frac{3}{4}$, ovvero

$$\text{Eff. Normale} = \frac{3}{4} \text{Eff. max.}$$

Quindi sostituendo nell'equazione sopra ricavato il tempo normale:

$$T_{\text{normale}} = \text{Eff. max} / \text{Eff. Normale} \times T_{\text{min}} = \frac{4}{3} T_{\text{min}}.$$

Dopo aver stabilito quindi l'efficienza massima e l'efficienza normale con cui un'attività dev'essere svolta si hanno dei parametri di confronto per poter stabilire l'efficienza effettiva con cui il lavoratore sta svolgendo l'attività. A ogni rilevazione T_k si assegna un'efficienza $\text{Eff. } k$ in modo da determinare il tempo normale

$$T_{\text{normale}} = T_k \times \text{Eff. } k = T_{\text{normale}} \times \text{Eff. Normale}$$

cioè

$$T_{\text{normale}} = \text{Eff. } k / \text{Eff. Normale} \times T_k \quad \text{e pongo} \quad \text{Eff. normale} = 100$$

La rilevazione diretta dell'attività attraverso tecniche cronometriche consiste quindi nell'effettuare più misure della stessa attività tenendo conto delle diverse condizioni al contorno da misura a misura. Ad esempio la velocità di esecuzione dell'attività può variare nell'arco della giornata o della settimana.

Quindi, prima di rilevare i tempi, bisogna eseguire un'analisi delle attività: si scompongono le attività in sotto-attività di durata adeguata, né troppo brevi né troppo lunghe, limitando così gli errori di misurazione. Inoltre si esegue un'analisi dei movimenti definendo così le sotto-attività produttive e non produttive e verificando l'ergonomia. Si possono così riutilizzare porzioni di attività in altre rilevazioni permettendo di eseguire dei giudizi di performance, rendimento e

velocità di esecuzione più oggettivi. Con tali giudizi si rende la tecnica cronometrica caratterizzata da un rilevamento del tempo di esecuzione dell'attività e da un rendimento di esecuzione dell'attività o efficienza. Un metodo di cronometraggio che si basa su questi principi è il metodo di Bedaux. Tale metodo stabilisce dei rendimenti massimi e minimi:

- rend. minimo = 40
- rend. normale = 60
- rend. massimo = 80

Il grafico sottostante mostra la variabilità di produttività dell'operatore durante le ore della giornata.

Tale variabilità nella produttività di esecuzione è dovuta a :

operatori diversi

periodo di esecuzione dell'attività

Per questo motivo Bedaux ha introdotto il concetto di Passo di Bedaux (B; Bs) che è equivalente al concetto di rendimento di esecuzione.

Passo di Bedaux = quantità di operazioni elementari (virtuali) che un operatore standard deve compiere in un minuto , tenendo conto delle pause necessarie per il soddisfacimento delle esigenze fisiche per il recupero dell'energia necessaria per il lavoro. Come detto sopra il passo minimo di Bedaux è stabilito a 40, quello normale a 60 e quello massimo a 80. Su una scala di rendimento con il massimo stabilito a 133 possiamo stabilire il minimo a 66 e l'efficienza normale a 100. La velocità normale di 60 Bs considera la possibilità di imprecisioni nel movimentare e lavorare il pezzo. La velocità di 80 Bs è la velocità massima che rispetta il vincolo di non affaticamento dell'operatore e di assenza di imprecisioni. Posso arrivare a 80 Bs senza affaticamento agendo sulla correttezza dei "metodi " . Quindi bisogna mettere in condizioni l'operatore medio di lavorare a 80 Bs senza stancarsi. Tali accorgimenti vanno presi nella fase di dimensionamento dell'impianto dopo una serie di considerazioni sia produttive che ergonomiche. Devo tenere sempre presente che:

$$T \times Bs = \text{cost}$$

Misurando si cerca di definire se l'attività è produttiva, quindi a valore aggiunto o non-produttiva (spreco). Lo spreco può essere irriducibile, come il prelievo dei componenti, cioè non eliminabile o eliminabile.

Rendimento attività = Tempo produttivo/ (Tempo produttivo + Tempo non produttivo)

Tempo standard a passo definito = $\sum Tril\ k \times Pk / (\sum Nril\ k \times P\ \text{definito})$

L'obiettivo finale è avere un unico tempo da tutte le tempistiche rilevate, tenendo conto del passo.

Il tempo dell'attività è :

$$T_{att} = T_{st} + T\ \text{maggiorazioni}$$

L'esecuzione dell'attività in condizioni standard ha un certo valore ma nella realtà ho delle maggiorazioni che nascono da diverse considerazioni. Tali maggiorazioni possono essere legate a necessità fisiologiche, alle caratteristiche dell'attività o alle caratteristiche dell'ambiente di lavoro. Bisogna tenere conto di tali maggiorazioni: le necessità fisiologiche solitamente si attestano intorno a tempi del 4-5 % del T standard; la caratteristiche dell'attività invece nascono da diversi fattori :

- fatica
- posizione durante il lavoro
- pericolosità
- monotonia

Le caratteristiche dell'ambiente di lavoro invece si possono scomporre in :

- temperatura / umidità
- illuminazione
- rumorosità
- inquinamento

Importante specificare che il metodo di Bedaux prevede di utilizzare il tempo depurato dalle maggiorazioni.

c) TEMPI PREDETERMINATI

Tali tecniche di rilevamento tempi vengono utilizzate nei casi in cui il prodotto non è conosciuto. Si prende in considerazione un prodotto simile oppure si ricorre a delle tabelle di tempi prestabiliti .

Tale metodo è molto oneroso e prevede la scomposizione dell'attività in una serie di microazioni. Le due tecniche principali sono MTM e il MOST.

Il Method Time Measurement analizza ogni singola attività tramite la sua scomposizione in micromovimenti cioè in movimenti elementari a cui è associato un tempo standard. Questo tempo dipende dalla natura del movimento e dalle condizioni operative. Il metodo MTM a sua volta conta due varianti :

MTM (1) = Tecnica che suddivide l'attività in microattività elementari come ad esempio raggiungere,afferrare,muovere,posizionare,rilasciare,disaccoppiare,ruotare ecc..

Quindi ogni micromovimento è stato già catalogato tramite delle tabelle standard riportate di seguito. E' stata introdotta un'unità di misura per valutare i movimenti; ogni micromovimento avrà quindi dei valori in tabella definiti in TMU.

$$1 \text{ TMU} = 1 \times 10^{-5} \text{ h}$$

$$1 \text{ h} = 10^5 \text{ TMU} \text{ quindi } 27,78 \text{ TMU} = 1 \text{ s}$$

A questi tempi standard vanno aggiunti i tempi relativi alle maggiorazioni che variano a seconda dei fattori visti in precedenza.

MTM (2) = Il secondo metodo raggruppa una serie di micromovimenti, permettendo così di velocizzare l'applicazione del MTM attraverso la combinazione, semplificazione e eliminazione di micromovimenti

Il MOST invece differisce dai metodi MTM perché al posto dei micromovimenti definisce dei sequence model per ogni attività. Tale tecnica è basata su tempi predeterminati (tabelle) ma il Tstandard è definito attraverso la determinazione delle sequenze di lavoro. Esistono tre livelli di MOST a seconda dell'accuratezza dell'analisi che si intende affrontare:

- MINI (unità di TMU)

- BASIC (decine di TMU)
- MAXI (centinaia di TMU)

Questi tre livelli si differenziano principalmente per la durata delle attività, il livello MINI ha attività brevi e attività pressoché ripetitive; il basic most invece è il livello solitamente utilizzato nell'assemblaggio. Il suo sequence model si struttura in :

- General move
- Controlled move
- Tool use
- Manual crane

Un esempio di come può essere strutturato un sequence model tipico del MOST è del tipo:

A# B# G# | A# B# P# | A# |

Tale modello è riferito a un general move in cui la prima fase è relativa al Get, la seconda al put e la terza al return. I simboli A,B,G,P significano rispettivamente action distance,body motion,gain control,placement. Il tecnico possiede quindi una tabella per ogni attività e a seconda di come viene definita l'attività posso ricavare il pedice di A,B,G,P. Il pedice è un decimo il valore di TMU attività quindi

$$T_{std} = \Sigma \text{indici} \times 10 \text{ (TMU)}$$

Una volta definiti i movimenti bisogna definire i movimenti che vengono compiuti simultaneamente : se sono totalmente simultanei si prende il massimo fra i tempi; se sono parzialmente simultanei prendo le porzioni di attività simultanee e quelle non simultanee le sommo.

Ultimo step consiste nel definire le attività a valore aggiunto, produttive, necessarie :

$$T_{att} = T \text{ micromov. necessari} + T \text{ micromov. Improduttivi}$$

Anche in questo caso ottengo un tempo standard a cui vanno aggiunte le maggiorazioni.

2.3 Sistemi a cadenza imposta

Gli impianti industriali, come detto in precedenza, possono essere di due tipo:

- a) a cadenza imposta
- b) a cadenza non imposta

Nei sistemi a cadenza non imposta si ha sempre un tempo ciclo ma avendo l'operatore più attività da svolgere in una stazione, ogni stazione è disaccoppiata e esiste la possibilità di accumulo di prodotti.

a) sistemi a cadenza imposta

I sistemi a cadenza imposta sono sistemi molto più performanti rispetto a quelli a cadenza non imposta. Il prodotto avanza con una certa velocità e l'operatore ha un tempo ristretto per svolgere l'attività. Altra modalità che si può trovare in un sistema a cadenza imposta è l'avanzamento a scatti delle stazioni: al termini del tempo, tutti i prodotti passano alla stazione successiva. Se entro il tempo prestabilito non riesco a completare l'attività il prodotto rimane incompleto e tale attività andrà completata fuori linea assieme alle successive. Per questo motivo nasce un problema di bilanciamento dei costi tra il costo della manodopera effettiva e i costi di completamento delle attività. Questo bilanciamento si traduce nel carico della stazione: se una stazione è troppo caricata si risparmia nei costi diretti ma si corre il rischio di spendere di più per il mancato completamento. Per il tempo ciclo fissato, più è carica la stazione più aumenta il rischio che l'operatore non riesca a completare le attività. I costi diretti calano perchè più carico una stazione e meno necessario di operatori lungo la linea. Il problema di stazione eccessivamente cariche nasce quando ci sono dei costi di mancato completamento, ovvero tutte le attività successive verranno penalizzate con pesanti riscontri economici e con la necessità di completare le operazioni fuori linea. Per i sistemi a cadenza imposta è importante conoscere il metodo euristico di Kottas-Lau.

Metodo euristico di Kottas-Lau

Tale metodo dice dove si ha convenienza nell'aumentare il lavoro in una stazione senza rischiare di sfiorare il T_c . Come detto prima la problematica principale è legata al fatto che non è detto che si riesca a concludere l'attività in tempo sia perchè l'operatore ha un tempo variabile d'esecuzione sia perchè nella stessa linea ho assegnato diversi prodotti. Ciò comporta che si deve dimensionare il sistema stando mediamente sotto il T_c altrimenti si ha il rischio di un mancato completamento.

Alla base della trattazione dei sistemi a cadenza imposta è importante fare delle assunzioni a priori:

- tempo ciclo noto;
- diagramma delle precedenze noto;
- tempi delle attività seguono distribuzione normale : tempo medio M_j ; deviazioni standard σ_j ;
- costo operatore diretto = Cop ;
- l' operatore diretto inizia un'attività solo se i suoi predecessori sono completati.

Il costo di completamento in linea è :

$$L_j = M_j \times Cop / 60$$

Il costo fuori linea di una singola attività è maggiore del costo in linea:

$$I_j = \sum I'e$$

Se svolgo attività fuori linea sono costretto a eseguire anche le attività dei successori fuori linea.

Un concetto importante nell'analisi dei sistemi a cadenza imposta è il concetto di desiderabilità.

Parto da una stazione a disposizione, determino il Saving L_j e il cost $P_j \times I_j$:

$$L_j \geq P_j \times I_j \quad \text{con } P_j \text{ probabilità di mancato completamento}$$

Il concetto alla base è che il beneficio che si ha assegnando un'attività ad una certa stazione dev'essere maggiore del costo del mancato completamento. Quindi una stazione è desiderabile se il saving è maggiore del cost.

Se allora il saving supera il cost posso assegnare l'attività. Il saving quindi è un mancato costo. Il saving nasce dal concetto che assegnando l'attività j alla stazione non la si deve assegnare a un nuovo operatore. La probabilità di mancato completamento P_j segue un grafico :

$$F(t) = \int P(\tau) d\tau$$

$$P(t) = \int_t^{\infty} P(\tau) d\tau = 1 - F(t) \quad \text{faccio cambio variabile } z = t - m / \sigma$$

Tale procedimento risulta utile avendo a disposizione le tabelle delle distribuzioni normalizzate. Quindi, generalizzando, se si hanno più attività assegnate alla stessa stazione :

$$Z_j = T_c - \sum M'j / ((\sum \sigma j')^2)^{1/2}$$

J' = Tutte le attività assegnate a quella stazione più attività j.

Quindi :

$$L_j \geq P_j \times I_j \text{ con } L_j \text{ e } I_j \text{ note} \quad L_j / I_j \geq P_j \text{ con } P_j = P(z_j)$$

$$L_j / I_j \geq 1 - F(z_j) \quad F(z_j) \geq 1 - L_j / I_j = F(z_j^*)$$

$$F(z_j) \geq F(z_j^*) \quad z_j \geq z_j^*$$

F(z_j) dipende da dove si è assegnata l'attività j-esima; F(z_j^{*}) dipende dai soli costi dell'attività.

L' algoritmo alla base di questo sistema è illustrato in figura:



Figura 3 : : Figura rappresentativa dell'algoritmo di scelta delle attività con Kottas-Lau

1. Si considera una nuova stazione.
2. Si cercano tutte le attività assegnabili.
3. Si assegnano prima le attività critiche; se sono più di una si assegna prima quella con maggior numero di successori; se non ci sono attività critiche si assegnano solo le attività desiderabili e/o quelle desiderabili e sicure partendo dalle attività sicure con I_j maggiore. Se si hanno solo attività desiderabili si assegna prima quella con I_j minore.
4. Se una stazione non è vuota si valutano solo le attività desiderabili e/o desiderabili e sicure.
5. Chiudo una stazione se tutte le attività disponibili sono critiche; se si hanno più attività numero di successori si assegna quella con I_j maggiore; se si hanno attività desiderabili o desiderabili e sicure con stesso I_j si assegna casualmente. Un'attività è critica se $z_j < z_j^*$ ovvero se non ha superato il criterio di desiderabilità. Se è critica la assegno quando la stazione è vuota x sbloccare il ciclo delle precedenze.

- Attività desiderabile se $z_j > z_j^*$
- Attività desiderabile e sicura $z_j > z_j^*$
- Attività sicura $z_j > z_{2,575}$ cioè $F(z_j) > 99,5\%$

Tale metodo è euristico : non si è bilanciato il sistema ma solo dimensionato. Ora posso calcolare i costi.

$$C_{tot} = (\epsilon/pz) = C_{tot} \text{ mdo dir.} + C_{tot} \text{ mancato completamento} = N_{staz} \times C_{op} / Q + \sum P_j \times I_j$$

2.4 Analisi costi/benefici

Un'impianto industriale può essere definito come un'azienda la quale “mediante opportuni mezzi, si operano trasformazioni di natura tecnica su merci in ingresso per ottenere in uscita beni (merci o servizi) di maggiore valore per l'organizzazione.”

Gli impianti industriali quindi, indipendentemente dalla natura e dalle caratteristiche che assumono hanno come obiettivo finale la valorizzazione di un prodotto, la creazione di un bene con un determinato valore. Tale obiettivo ovviamente è legato a considerazioni di natura economica e di controllo costi. In fase di progettazione, precisamente nella fase iniziale di offerta dove viene fatto uno studio di fattibilità nel quale si stilano le linee guida della progettazione una parte importante la

occupano le analisi relative ai costi. Nell'immagine seguente è descritto lo schema riassuntivo delle valutazioni e degli aspetti da tenere in considerazione al momento dell'analisi preliminare.

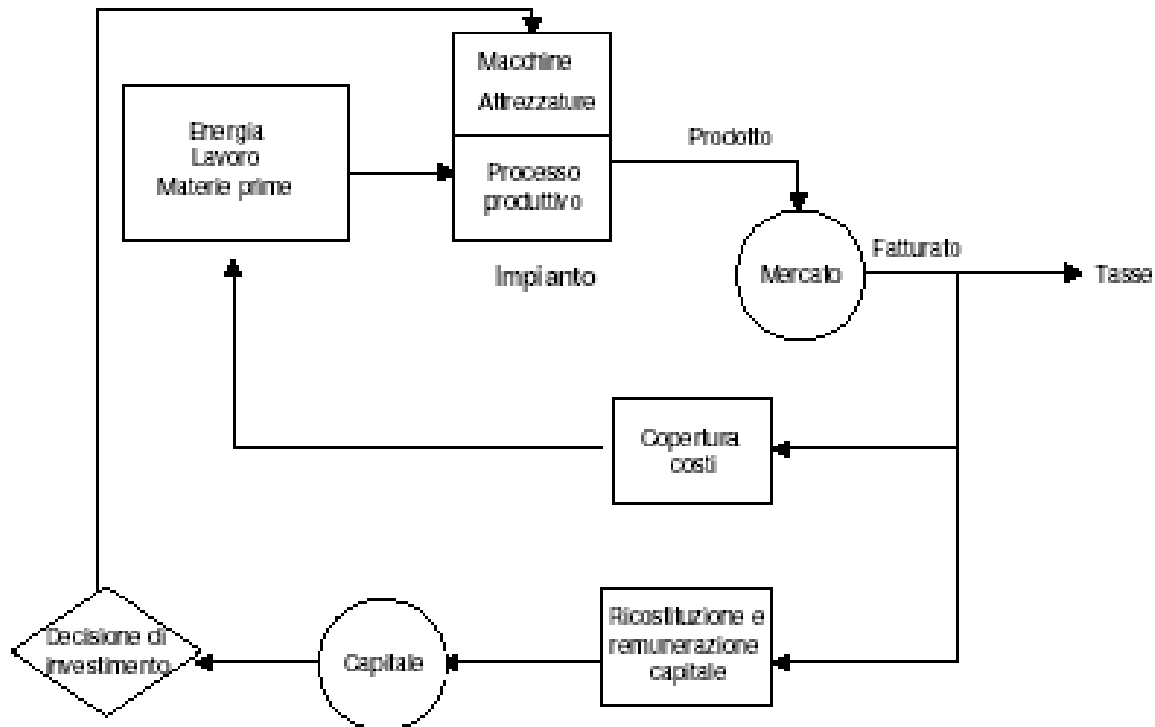


Figura 4 : Costi e valutazioni impianto industriale.

Come un'azienda anche un'impianto industriale ha come target la massimizzazione del profitto aziendale che consiste nel massimizzare il valore del lavoro prodotto rispetto al valore dei fattori produttivi utilizzati nella produzione. Per fattori produttivi si fa riferimento a tutto quello che concorre alla produzione del prodotto finale. Possiamo individuare due macrocategorie :

- beni di consumo durevoli, ovvero quei beni che vengono usati per più anni nell'esercizio dell'impianto
- beni di consumo intesi come manodopera e energia usata nel ciclo produttivo

Facendo uno studio preliminare vanno tenuti in considerazione alcuni costi che l'azienda dovrà prevedere di sostenere :

- a) costi di installazione
- b) costi di esercizio
- c) costi di inefficienza

d) ammortamenti

- a) Costi di installazione: i costi di installazione comprendono tutte le spese iniziali a cui l'impresa deve far fronte per poter mettere l'impianto in condizione di produrre. Tale esborso iniziale richiede di disporre di adeguati capitali e deve essere stimato a priori. Solitamente nella fase antecedente allo studio di fattibilità si esegue uno studio sulla convenienza dell'investimento e sulla resa economica che potrà negli anni quindi sull'ammortamento della spesa iniziale. Essenziale in questa fase è fare una distinzione fra capitale fisso e capitale circolante.

Capitale fisso = Il capitale fisso è legato a tutte le attività riguardanti le fasi precedenti alla messa in opera dell'impianto.

Tali attività saranno essenzialmente di questo tipo :

- Studio di fattibilità
- Pianificazione progetto
- Acquisizione del terreno
- Costruzioni edili
- Installazione servizi di impianto
- Costi dei macchinari e delle attrezzature
- Costi relativi al montaggio dell'impianto
- Costo dei beni non materiali come brevetti licenze ecc..
- Interessi dei mutui
- Interessi dei mutui

Capitale circolante = Il capitale circolante invece riguarda l'insieme dei mezzi di produzione utilizzati nell'impianto e degli anticipi finanziari sul ricavato. Comprendono

- Scorte e giacenza di prodotto = all'avvio dello stabilimento devo già prevedere un magazzino di accumulo per soddisfare eventuali picchi
- Credito ai clienti = I pagamenti non sono mai immediati, solitamente la fatturazione avviene a 30-60 gg.

- Cassa

b) Costi di esercizio

I costi di esercizio comprendono tutti i costi necessari al funzionamento dell'impianto. Si possono dividere in :

- costi variabili = Sono tutte le spese che l'impianto in esercizio genera in funzione del volume produttivo e del prodotto. Comprendono ad esempio le materie prime, l'energia. L'andamento di tali costi non è detto che sia lineare cioè non è detto che i costi aumentino linearmente con il volume prodotto, L'andamento per le economie di scala può essere sigmoidale.
- costi semivariabili = Sono costi in parte fissa come la madopera, dipendentemente dal tipo di contratto, e come i di costi di manutenzione. Sono costi che non dipendono solamente dalla produttività ma presentano sia una parte variabile che dipende dal volume produttivo che una parte fissa. Il contratto di lavoro diventa un costo semivariabile quando viene pagato il lavoro straordinario o il lavoro interinale.
- costi fissi = Sono costi che non dipendono dalla produttività, essi dipendono essenzialmente da :
 - spese generali di segreteria come telefoni assicurazioni ecc.
 - spese per il personale amministrativo
 - affitti e noleggi
 - ammortamenti

Un'altra suddivisione dei costi riguarda quella tra costi diretti e costi indiretti: i costi diretti fanno riferimento a tutti quei costi vivi facilmente determinabili ed attribuibili a una determinata attività/ prodotto. I costi indiretti sono più difficili da stimare e comprendono ad esempio

l'energia elettrica dei macchinari, i costi di processo e di giacenza. La tabella seguente riassume le categorie descritte sopra:

	DIRETTI	INDIRETTI
VARIABILI	Costi variabili di fabbricazione e vendita Manodopera Flessibile Materie Prime Costo trasporto Materiali da imballaggio	Costi variabili comuni Energie, Materiali ausiliari Manutenzione
FISSI	Costi fissi speciali di prodotto Attrezzature speciali dedicate (es: stampi) Manodopera diretta Ammortamento macchinario dedicato	Costi generali di fabbricazione e aziendali Manodopera indiretta Spese Generali Ammortamento macchinario comune ¹¹

Figura 5 : Grafico costi diretti-indiretti e variabili-fissi.

2.5 Layout dei sistemi d'assemblaggio

Per creare un sistema d'assemblaggio è necessario avere:

- prodotti
- risorse in termini di operatori e attrezzature
- layout di assemblaggio
- tempi di assemblaggio
- stazioni

in un'azienda che compie attività di assemblaggio sono sempre presenti degli operatori . I layout di assemblaggio dipendono dalle seguente caratteristiche:

- Modalità di trasferimento dei pezzi lungo la linea
- Cadenza dei sistemi, ovvero se a a cadenza imposta o non imposta.

- Disposizione delle postazioni di lavoro
- Grado di automazione

Trasferimento dei pezzi è un'attività non produttiva, non aggiunge valore al prodotto. Le attività non produttive vanno ridotte il più possibile o vanno automatizzate. I pezzi quindi possono essere trasferiti manualmente o meccanicamente:

manualmente = operatore svolge l'attività di prelievo del pezzo da un'area di buffer e l'attività di deposito.

meccanicamente = Sistema di trasporto che può essere più o meno flessibile che esegue trasferimenti mediante nastri trasportatori.

La differenza sostanziale tra le due modalità di trasferimento consiste nel fatto che l'attività di trasferimento manuale è improduttiva mentre quella di trasferimento meccanica è più onerosa.

Altra caratteristica del sistema di assemblaggio è la cadenza del sistema; essa può essere imposta o non imposta:

- PACED = Sistemi di trasporto a cadenza imposta. Il sistema di trasporto si muove con una certa velocità o ad ogni temp ciclo scatta in avanti di una posizione in modo da spostare il prodotto da una stazione all'altra. Il tempo massimo di lavorazione è pari al tempo ciclo.
- UNPACED = Sistemi di trasporto a cadenza non imposta. Sistema che lavora mediamente al tempo ciclo ma ogni singola postazione può superare temporaneamente tale tempo. Il tempo ciclo non varia da stazione a stazione ma cambia per prodotto. La presenza di buffer tra stazioni consente il disaccoppiamento fra queste. Buffer significa spazio dedicato alle attività non produttive.

Nella cadenza imposta se si sfora il tempo ciclo non si completa l'attività quindi il mancato completamento dipende da variabilità dei tempi o da prodotti non adeguati.

A seconda delle disposizioni delle postazioni di lavoro i layout si classificano in :

- Layout a quadrilatero = lo svantaggio di tale layout è che gli operatori hanno i componenti alle spalle e ciò comporta perdita di tempo. I punti di forza sono il contatto visivo fra gli operatori e buona comunicazione fra essi. Si usa per subassemblati. Necessita di ridotti investimenti, inoltre il buffer intermedio fra stazioni è piccolo o assente.
- Layout a U = Si possono alimentare i componenti anche dalla parte posteriore della stazione. Il numero di operatori in genere è minore del numero di stazioni, si lavora in genere sull'elasticità del sistema di assemblaggio. Vengono usati solitamente per assemblare dei subassemblati del prodotto finale quindi necessitano di elasticità e flessibilità. In questa disposizione non si ha contatto visivo fra gli operatori. Si ha la possibilità di avere piccoli buffer.
- Layout lineare = l'ingresso e l'uscita di tale sistema sono in punti diversi, in questo modo il trasferimento è facilitato. Il ritorno dei vassoi è sottostante inoltre è facilmente visibile vedere dove c'è rallentamento lungo la linea. Per permettere ad attività lunghe di non sfiorare il tempo ciclo posso mettere stazioni in parallelo o anche linee in parallelo.

Altro aspetto molto importante che distingue i vari sistemi di assemblaggio è il grado di automazione. In funzione del grado di automazione una linea di assemblaggio può essere:

- a stazione singola o multipla
- automatica o manuale

La scelta del grado di automazione di una linea di assemblaggio dipende dalla complessità dei prodotti e dal volume di produzione; più il volume è grande più è conveniente un sistema automatizzato. Si può introdurre ora un'ulteriore linea di assemblaggio chiamata FAS, flexible assembly system. Tali linee riescono a produrre prodotti diversi ma della stessa famiglia.

Le componenti principali che caratterizzano tali linee possono essere :

- attrezzature di sostegno del pezzo
- sistemi di trasporto dei pezzi da stazione a stazione
- sistema di alimentazione dei componenti da montare
- stazioni di lavoro

- stazioni di controllo e collaudo dei montaggi

Le stazioni automatiche hanno la caratteristica di produrre una mole elevata di prodotti ma hanno bassa flessibilità mentre le stazioni robotizzate, in cui il montaggio e la manipolazione è eseguita da robot presentano più flessibilità ovvero si possono programmare e riprogrammare velocemente le traiettorie e le operazioni svolte dai robot. I robot hanno un'elevata flessibilità e possono essere interfacciati con diversi tipi di prodotti anche solo cambiando l'attrezzo di presa nella parte terminale del robot.

Esistono svariati tipi di robot a seconda delle funzioni che devono svolgere e possono essere più o meno complessi cioè con uno, due tre o più assi. Gli assi possono essere lineari o rotazionali quindi combinando questi tipi di assi posso garantire elevatissima flessibilità oltre a performance di precisione ed efficienza irraggiungibili con la manodopera. Per quanto riguarda le stazioni di controllo il loro numero e l'accuratezza del controllo che svolgono è determinata dal settore merceologico, dalla complessità del prodotto e da vincoli legislativi e/o sanitari. Queste stazioni possono essere a disposizione fissa, cioè dei sensori di visione come sensori o a disposizione mobile come ad esempio i tastatori. Se durante queste attività di controllo il pezzo non risulta conforme si può intervenire in tre modi:

- disattivazione della linea o dei mezzi di montaggio
- disattivazione dopo un certo numero di errori in sequenza
- memorizzazione degli errori

2.6 Ergonomia

Un aspetto fondamentale nei sistemi di produzione consiste nella qualità delle condizioni di lavoro dell'operatore. Un'operatore dev'essere messo nelle condizioni di lavorare in maniera ottimale per evitare problemi fisici che si possono manifestare a causa di movimenti scorretti. Per far funzionare il sistema di assemblaggio nel modo migliore è necessario curare l'ergonomia. L'ergonomia è la scienza che studia il benessere dell'operatore nell'esecuzione di certi compiti, studia l'affaticamento ed eventuali problemi fisico muscolo-scheletrici. L'affaticamento ha conseguenze negative su un impianto perché oltre a incidere sull'operatore porta a problemi di sicurezza, tempi di assemblaggio più alti e a lavoro di peggior qualità. In genere, anche per linee di assemblaggio molto automatizzate c'è sempre un numero minimo di operatori lungo la linea, anche solo per mansioni di monitoraggio o manutenzione. L'ergonomia quindi va a impattare sulla produttività perché acconsente un minore affaticamento dell'operatore; un'operatore in adeguate condizioni è più efficiente. L'ergonomia crea dei benefici per l'operatore e per lo stabilimento sul lungo periodo: inizialmente prolunga i tempi poiché richiede di eseguire le attività specificamente ma poi ripaga. Generalmente un'impianto di produzione viene progettato solo su alcuni parametri tecnici ovvero tempo ciclo e produttività ma non sul benessere dell'operatore e ciò causa perdite di produzione dovute ad assenteismo o monotonia. Bisogna fare un'analisi ergonomica nella linea di assemblaggio : si include all'interno della fase di progettazione.

Per impostare tale tipo di analisi devo considerare le variabili tecnologiche, le variabili ambientali e così posso progettare il sistema logistico e di produzione di conseguenza. Ci sono alcuni principi cardine alla base della progettazione che tiene d'occhio anche l'ergonomia:

- Considerazione delle stature : è necessario tenere in considerazione le altezze dei banchi di lavoro rispetto alle altezze dell'operatore
- Controllare la grandezza del campo di presa ottimale, ovvero lo spazio di azione di entrambe le mani. Determinare il campo di presa ottimale e quello massimo.
- Ottimizzare la disposizione dei contenitori dei pezzi e il flusso del materiale
- Evitare posti di lavoro con attività svolte sopra l'altezza del cuore per un lungo periodo. Si escludono ad esempio le operazioni brevi quali il prelievo.
- Fare attenzione ai campi visivi
- Adattare intensità luminosa al compito
- Regolare correttamente i mezzi di lavoro.

In merito a tali considerazioni c'è un decreto legislativo che tutela l'operatore e stabilisce le metodologie di lavoro. Il decreto in questione è il decreto legislativo 81 il quale è suddiviso in articoli che trattano nello specifico casi diversi di lavori. In particolare l'articolo sesto tratta la movimentazione manuale dei carichi : obbligo del progettista di valutare e ridurre i rischi di disordine muscolo-scheletrici nello svolgimento delle attività. Nell'articolo setso vi è inoltre l'allegato 33 che fa riferimento alle norme tecniche ISO 11228. Esistono principalmente quattro macro metodi ergonomici :

- tecniche di self assessment evaluation = scala di Boig, metodo soggettivo
- metodi osservazionali = l'osservatore analizza l'operatore e crea una tabella : Niosh, Owas; Ocra; Rula). Metodi molto onerosi
- modelli simulativi = vengono eseguite delle simulazioni su come verrà svolta l'attività dall'operatore
- metodi diretti = PMES, si fanno tabelle di energia spesa per svolgere l'attività
- sistemi innovative real-time ergo-evaluation = sistemi evoluti per valutare al meglio i movimenti dell'operatore

3.Illustrazione del CASE STUDY:

Dopo aver delineato brevemente il target della relazione e dopo aver fatto un cenno sulla teoria utilizzata nella trattazione si entra di seguito nello specifico del case study. Nei capitoli seguenti viene spiegato nel dettaglio il processo produttivo in esame.

3.1 Panoramica introduttiva

Fra le varie tipologie di industrie che troviamo in Italia, il settore alimentare occupa uno spazio molto importante sia a livello di qualità e riconoscimenti nel mondo che sotto l'aspetto economico e del giro di affari che genera. Esso è un motore trainante per l'economia italiana, l'export di salume in particolare rappresenta un giro di affari di oltre un miliardo, come riporta ASSICA, l'associazione industriali delle carni e dei salumi nel bilancio di fine anno 2013. Il prosciutto crudo marchio DOP italiano è tra i leader indiscussi del mercato internazionale. Le due sottocategorie più conosciute sono il prosciutto di Parma e il San Daniele. Il prosciutto crudo è il salume italiano più esportato nel mondo: lo riporta ASSICA in una tabella elaborata su dati Istat nella quale sono raccolti dei valori relativi all'export di salume verso gli USA.

Export salumi italiani verso USA			
	2012	2011	var. 2012/11
Prosciutti crudi	4.899	4.078	+20,1%
Prosciutto cotto	445	330	+34,8%
Mortadella	409	343	+19,1%
Altri salumi	140	99	+40,7%
Totale	5.892	4.850	+21,5%

Fonte: elaborazioni ASSICA su dati Istat - Valori espressi in tonnellate

Lo stabilimento in esame, che andrà a produrre prosciutti di Parma con diversi periodi di stagionatura, vuole porsi sul mercato come azienda leader del settore con altissimi coefficienti di rendimento e qualità improntando la produzione sul concetto di industria 4.0. La fase di realizzazione di questo tipo di prodotto è molto lunga e laboriosa e richiede alti livelli di manodopera alternata a lavorazioni in serie e ripetitive. Proprio per questi motivi l'integrazione di macchinari affiancati al lavoro dell'uomo permette il corretto bilanciamento del processo,

garantendo performance elevate ma allo stesso tempo preservando la qualità. Di seguito viene trattato nello specifico il ciclo di vita di un prosciutto con tutte le sue lavorazioni.

3.2 Descrizione del processo produttivo

Le fasi di produzione di un prosciutto crudo sono numerose e specifiche, ovvero esclusive di questo tipo di prodotto. La descrizione sottostante illustra il processo produttivo nella sua completezza (le stazioni fanno riferimento al layout in figura 4.2 nel capitolo di svolgimento) . La prima fase è costituita dal ricevimento (stazione A) della carne fresca. L'operatore riceve cosce (quartini) dal macello e le carica sul nastro trasportatore. I nastri trasportatori sono degli strumenti di trasporto automatici dotati ognuno del suo motore opportunamente dimensionato in funzione dell'applicazione che il nastro svolge e della velocità con cui deve movimentare i pezzi. Successivamente alla fase di ricevimento una prima fase di selezione con una bilancia automatica che pesa il pezzo in movimento e lo divide in classi di peso.

La coscia entra nell'impianto in ingresso del selezionatore/ bilancia che è costituito da tre trasportatori:

- Trasportatore prima della bilancia che permette eventualmente di distanziare i pezzi.
- Trasportatore con bilancia per rilevazione del peso in continuo e determinazione della classe di peso rispetto agli intervalli impostati.
- Trasportatore con deviatore per espellere il pezzo se inferiore al peso minimo e superiore al peso massimo. In questo caso questi pezzi vengono resi al fornitore o utilizzati per altri prodotti.

Il cliente nello specifico desidera avere tre classi di peso. I prosciutti che non rientrano nei range assegnabili a una determinata classe e quindi pronti per essere lavorati generano sottoprodotti come carnette, grasso ecc. utilizzate per lavorazioni diverse come ad esempio produzione di salame. La prima fase di lavorazione consiste nella mondatura e rifilatura, il prosciutto viene trattato dall'operatore (stazione B). In questa fase l'operatore esegue una lavorazione di mondatura per aggiustare la forma e valutare qualitativamente il prodotto ed eventualmente scartare il pezzo e renderlo al fornitore.

La coscia fresca viene lavorata e vengono eliminate le cotenne e l'eccesso di grasso. Ora il prosciutto assume la sua caratteristica forma a pera ed è pronto per passare alle fasi di salagione: in queste fasi viene sottratto cloruro di sodio in quantità tali da consentire a fine processo un sapore

sapido ma non eccessivamente salato. Queste operazioni di salagione si ripetono per due volte di seguito e occorrono circa venti giorni in totale. Successivamente alle fasi di salagione si ripongono i pezzi a riposo in celle a temperatura e umidità controllata durante i quali il pezzo assorbe il sale. Torniamo ora alla salagione e proseguiamo con la descrizione delle fasi successive, quelle di salagione e precisamente 1° sale , 2°sale e dissalatura/appendimento.

Il prodotto in ingresso (rifilato e mondato) deve essere diviso in tre classi di peso in modo che quando esce dalla fase del 2° sale, possa permanere in cella un numero di giorni in funzione della classe di peso. Generalmente la pezzatura più grossa rimane uno o due giorni in più rispetto a quella più piccola.

Le cosce sottoposte all'attività di 1° sale e selezione di peso devono essere posizionate su una attrezzatura denominata "bilancella" formata da 14 piani scanalati. Ogni piano può contenere al massimo 8 prosciutti. La bilancella è movimentata manualmente e scorre tramite un carrello in guidovia aerea. Il pezzo prosegue ed entra nella timbratrice (stazione che lavora autonomamente in automatico) e che provvede ad imprimere il timbro a fuoco abbinato all'unità produttiva e il numero della classe di peso (1, 2 o 3). Proseguendo, il pezzo entra nello spremivena che serve per drenare la vena primaria della coscia da eventuali residui di sangue rimasti dalla fase di macellazione. Lo spremivena permette, per alcuni prodotti, una doccetta di aceto da imprimere sul prodotto. Il prosciutto continua il suo ciclo ed entra nella sfregatrice per subire un trattamento superficiale di sfregamento. Dopo la sfregatrice il prosciutto dovrà entrare nella salatrice.

La salatrice distribuisce sulla coscia il sale umido (1° sale saturo) in modo uniforme. La coscia uscendo dalla salatrice prosegue sul nastro sale (stazione C) dov è prevista la presenza di un operatore che controlla come è stato distribuito il sale dalla salatrice ed eventualmente aggiunge sale manualmente soprattutto nella zona della noce. Nella stazione successiva, ovvero quella di carico (stazione D) l'operatore preleva il prosciutto dal nastro e lo dispone sulla bilancella come mostrato nel disegno seguente. Il prosciutto verrà posizionato nella bilancella a cui è assegnata la sua specifica classe di peso fino a formare un piano da otto prosciutti. I telai carichi di bilancelle vengono portati nelle celle di primo sale e vengono lasciati lì per una settimana. Il processo continua con la fase di scarico (stazione E). L'operatore preleva i prosciutti che provengono dal primo sale e li carica sul nastro per proseguire con le lavorazioni. L'attività del secondo sale prevede di scaricare il prodotto che ha subito il trattamento del sale ed è stato conservato nelle celle per una settimana , dissalarlo, risalarlo, ricaricarlo sulle bilancelle e inserirlo nelle celle del secondo sale. Le cosce dal trasportatore proseguono nella zona del decompattatore con orientatore che ha la funzione di serializzare i pezzi facendoli avanzare con lo zampetto verso la dissalatrice , la

massaggiatrice, il trasporto con bilancia che rileva il calo peso della fase del primo sale, per poi proseguire nella sfregatrice, nella salatrice e nel nastro sale (stazione F). Dopo questa serie di lavorazioni si arriva alla seconda fase di carico (stazione G): l'operatore provvede a caricare i pezzi su due bilancelle destinate al carico pezzi secondo sale. Le postazioni sono due una in tandem all'altra. Le bilancelle vengono depositate nelle celle del secondo sale per circa una settimana.

Quindi considerando delle macroattività in cui sono poi racchiuse le varie stazioni di lavorazione possiamo dividere la prima fase del ciclo di produzione del prosciutto in due: la fase di primo sale e la fase di secondo sale. Dopo queste prime due macro operazioni, che richiedono un grosso impegno sia in termini di operatori che di macchinari ma che prevedono anche una grossa giacenza di prodotto da tenere sotto controllo nelle celle, si passa alla fase successiva ovvero quella della dissalatura. Procedendo lungo la linea di produzione si esce quindi dalla stazione di carico G per entrare in quella di scarico (stazione H) dove l'operatore preleva dalle bilancelle che sono state nelle celle di secondo sale e scarica nuovamente il prodotto sulla linea pronto ad essere sottoposto alle lavorazioni successive. L'attività della dissalatura prevede di scaricare il prodotto che ha subito il trattamento del secondo sale, dissalarlo, toelettarlo, mettere la corda alle cosce e appenderle ai telai. Entriamo più nel dettaglio di queste operazioni: la dissalatura è un procedimento che consiste nel togliere il sale residuo che non è riuscito a penetrare nel prodotto nelle due fasi di primo e secondo sale; dopo la dissalatura si entra in un'altra macchina automatica che è quella del lavaggio. Tramite degli spruzzini con acqua trattata il prosciutto viene pulito dai residui di sale e altre componenti e viene mandato nella massaggiatrice.

Dopo la massaggiatrice c'è un'altra bilancia che si occupa del calo peso dovuto alla permanenza nelle celle del secondo sale e che suddivide nuovamente i prosciutti in due classi di peso. Si arriva così alla fase di toelettatura che consiste in un'ulteriore sgrossamento e in una raffinatura della forma del prosciutto. È suddivisa in due parti. La prima si svolge in una cabina di toelettatura (stazione I) dove l'operatore toglie le parti più grossolane mentre la seconda fase è quella di toelettatura vera e propria (stazione J), dove l'operatore raffina la forma del prosciutto conferendogli il suo aspetto tradizionale che si trova in commercio. Dopo i tagli che il prodotto subisce necessita di un ulteriore controllo del peso e quindi ci sarà un'altra bilancia. Ottenute le classi di peso finali della linea, l'operatore prende i prosciutti che escono in continuo dalla bilancia e effettua un'operazione di legatura (stazione M) in cui con un nodo mette il laccetto al prosciutto. Questa operazione per richiesta del cliente viene fatta manualmente ma esiste anche un macchinario che lavora in maniera automatica e autonoma che lega il laccetto attorno al prosciutto. Il laccetto serve per poter appendere il prosciutto sul telaio, che verrà riempito e andrà in cella di stagionatura. Il telaio è costituito da undici piani di prosciutti con cinque cosce per piano. L'ultima stazione della

linea infatti (stazione N) è quella di appendimento ovvero dove l'operatore riceve il prosciutto col laccetto e lo appende al telaio. Riempito con undici piani la faccia A il telaio ruota e mette a disposizione la faccia B per essere riempita dall'operatore. I telai una volta riempiti proseguono per essere introdotti nelle celle del preriposo.

A questo punto termina la fase produttiva oggetto dello studio. Il ciclo produttivo però prosegue e si ritiene necessario descriverlo nella sua completezza per rendere la trattazione più chiara e comprensibile e per sottolineare la complessità e la delicatezza che un prodotto come il prosciutto crudo richiede. L'operatore preleva i telai dalle celle di preriposo e li appende con i prosciutti da sugnare sulla catena di sugnatura. La catena di sugnatura è un sistema di movimentazione posto a una certa altezza da terra, raggiungibile dall'operatore dove i prosciutti una volta appesi vengono movimentati da una catena cardanica che ingrana su una ralla montata su un albero, il quale è collegato a un motore elettrico e trasmette il moto alla catena. Finito di scaricare un telaio l'operatore provvede alla sostituzione con uno pieno e riprende così l'operazione. I prosciutti appesi dall'operatore sulla catena di sugnatura proseguono inclinati davanti agli operatori che applicano la sugna, tramite pistola a spruzzo e pennello, al prosciutto. La lavorazione di sugnatura ha come obiettivo l'ammorbidimento degli strati superficiali.

Ammorbidire gli strati superficiali è importante per evitare che si asciughino più rapidamente degli strati interni e per consentire una perdita di umidità graduale. La sugnatura consiste in un impasto di grasso di maiale, sale farina di riso e pepe. Per evitare che ci siano delle tracce di glutine e lattosio è sconsigliato l'uso di farina di grano. Tale impasto è prodotto manualmente e lo strato applicato non dev'essere né esageratamente sottile né troppo spesso perché si rischierebbe di compromettere la successiva fase di stagionatura. Quando si tratta il prodotto bisogna prestare attenzione a non comprimere eccessivamente le parti grasse altrimenti potrebbero restare troppo morbide e non asciugarsi così nella maniera corretta.

L'operazione di sugnatura solitamente viene eseguita tre volte:

- Prima sugnatura = Eseguita quattro/cinque mesi dopo la salagione.
- Seconda sugnatura = Eseguita 6 mesi dopo la salagione.
- Terza sugnatura = Eseguita prima della commercializzazione del prodotto.

Complessivamente la durata della sugnatura è di circa 14 mesi ma può subire delle variazioni in funzione della pezzatura dei prosciutti.

Dopo l'operazione di sugnatura l'operatore preleva i prosciutti interi dalla catena e li deposita sul nastro trasportatore. I pezzi avanzano verso la postazione di puntatura dove è presente un operatore

specializzato che inserisce un osso nel prosciutto e analizzandone l'odore deve dedurre se il processo è stato fatto correttamente o se il pezzo è marcito. Dopo questo controllo il prodotto prosegue sui nastri trasportatori e arriva al nastro di selezione qualitativa per poi proseguire sul trasportatore con bilancia dove viene effettuato nuovamente un controllo peso ed infine arriva al selezionatore. Il selezionatore ha diverse bocche di selezione in funzione del numero di classi di prosciutto in cui si è pensato di dividere la produzione. In alcuni casi si ha la necessità di riappendere alcuni prosciutti in catena o riappenderli al telaio. Questa funzione si ottiene attraverso una delle bocche di selezione e tramite un operatore che appende i prosciutti alla catena di sugnatura. Dopo la fase di sugnatura è prevista una fase di lavaggio dove viene tolto il sale in eccesso e preparato il prodotto per la stagionatura, che è la fase finale prima della commercializzazione.

L'operatore inserisce un telaio da lavare nella zona di lavaggio, preleva i prosciutti e li appende alla catena di lavaggio. Una macchina con delle docce e dei soffietti svolge l'operazione e dopodiché l'operatore preleva i prosciutti lavati e li appende al telaio vuoto. Dopo la fase di lavaggio sono previste altre operazioni analoghe a quelle che troviamo dopo la fase di sugnatura ovvero nastri trasportatori con postazioni di puntatura e selezione qualitativa per poi arrivare sulla bilancia e sul selezionatore. Questi trasportatori servono per scaricare i prosciutti interi per la spedizione.

3.3 Soluzioni cercate

Nel capitolo precedente è stato descritto il processo di lavorazione che subisce un prosciutto crudo prima di poter essere messo in commercio. Si evidenzia nella trattazione la complessità di questo procedimento, costituito da una successiva ripetizione di attività che concorrono a dare al prodotto le caratteristiche e i requisiti essenziali per poter essere messo in commercio. I controlli degli stabilimenti infatti sono molto restrittivi e frequenti, sia da parte di veterinari che di ispettori del lavoro che monitorano come vengono svolte le attività e verificano che lo stabilimento riesca a garantire un determinato standard di igiene. Tutti questi parametri, anche se in maniera diversa, concorrono nell'influenzare l'efficienza, la qualità e la produttività dello stabilimento. I fermi macchina ad'esempio, a cui sono costretti certi impianti perché non soddisfano le norme vigenti in termini di sanificazione alimentare o in termini di ergonomia del lavoratore, hanno delle ricadute pesantissime in termini di produttività e di costi di mancato completamento. L'obiettivo quindi di questo studio è stato quello di cercare una soluzione che potesse convincere il cliente a investire sull'automazione dell'impianto per poter limare così quei limiti che con un impianto tradizionale rappresenterebbero dei colli di bottiglia difficilmente risolvibili. La proposta che si è sviluppata è stata quella di utilizzare un prototipo di robot, interamente riproducibile presso l'azienda, che potesse sostituire gli operatori nelle operazioni di carico e scarico sia nella fase di primo sale che in quella di secondo sale. Così facendo si otterrebbero importanti vantaggi in termini di produttività ma anche di sicurezza perché sgraverebbero l'operatore da un compito pesante e a lungo andare nocivo per la salute permettendo così il suo impiego in operazioni meno ripetitive e più stimolanti. Il robot in questione è stato oggetto di uno studio di fattibilità che verrà illustrato nel seguito della relazione.

Ricapitolando, i vantaggi che si otterrebbero per il cliente con una linea automatizzata sono :

- Basso costo di manodopera;
- Riduzione degli sfridi, cioè minimizzazione degli errori e degli scarti;
- Elevata qualità del prodotto;
- Ottimizzazione degli spazi ;
- Bassi consumi energetici;
- Alta efficienza di produzione;
- Flessibilità nella gestione e movimentazione dei prodotti.

4. Svolgimento

4.1 Ciclo delle precedenze

Lo studio di fattibilità parte con la determinazione dei tempi delle varie attività. L'impianto lo possiamo trattare come un sistema a cadenza imposta con un ciclo di precedenze particolare poiché ogni attività è vincolata a un preciso predecessore e vincola un preciso successore

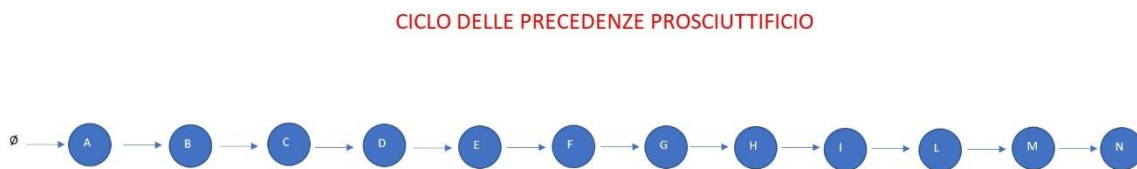


Figura 6 : Ciclo delle precedenze relativo all'impianto oggetto di studio

Il tipo di produzione non è né multi-models né mixed models poiché il prodotto, al di là delle diverse classi di peso in cui verrà suddiviso, è sempre lo stesso. Il primo step come detto riguarda l'applicazione di tecniche cronometriche per rilevare i tempi di ogni attività.

4.2 Impianto con operatore singolo

4.2.1 Dimensionamento dell'impianto e rilevamento tempi

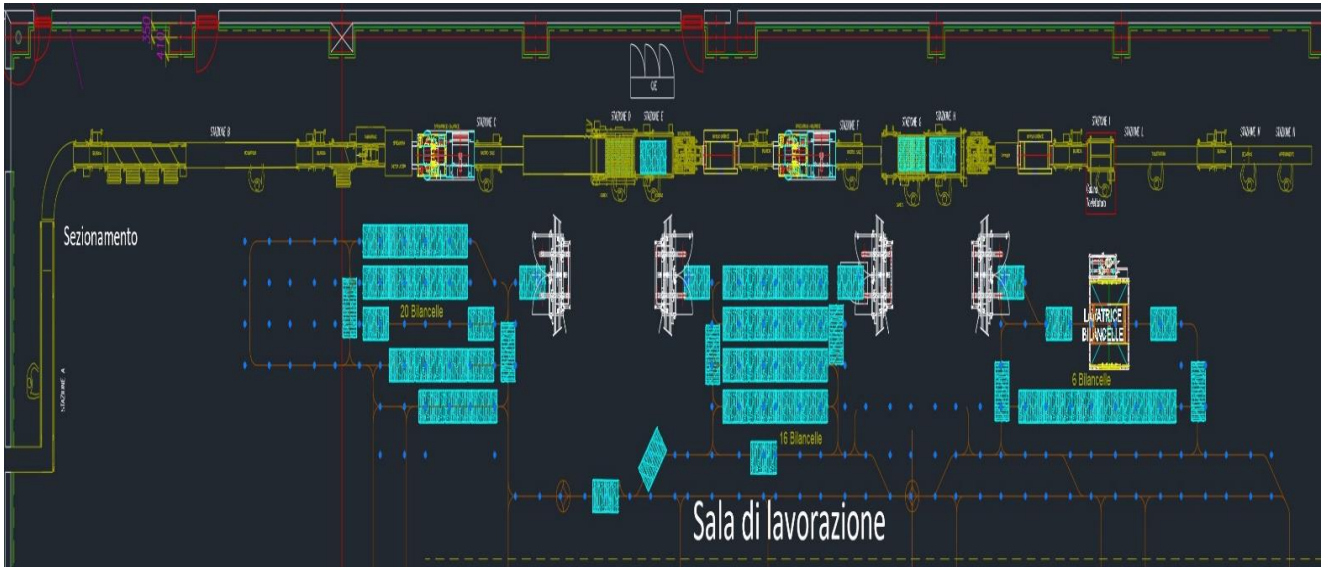


Figura 7 : Layout dell'intero stabilimento

Per vedere le stazioni nel dettaglio suddividiamo il layout in sottoinsiemi :

Stazioni A+B+C

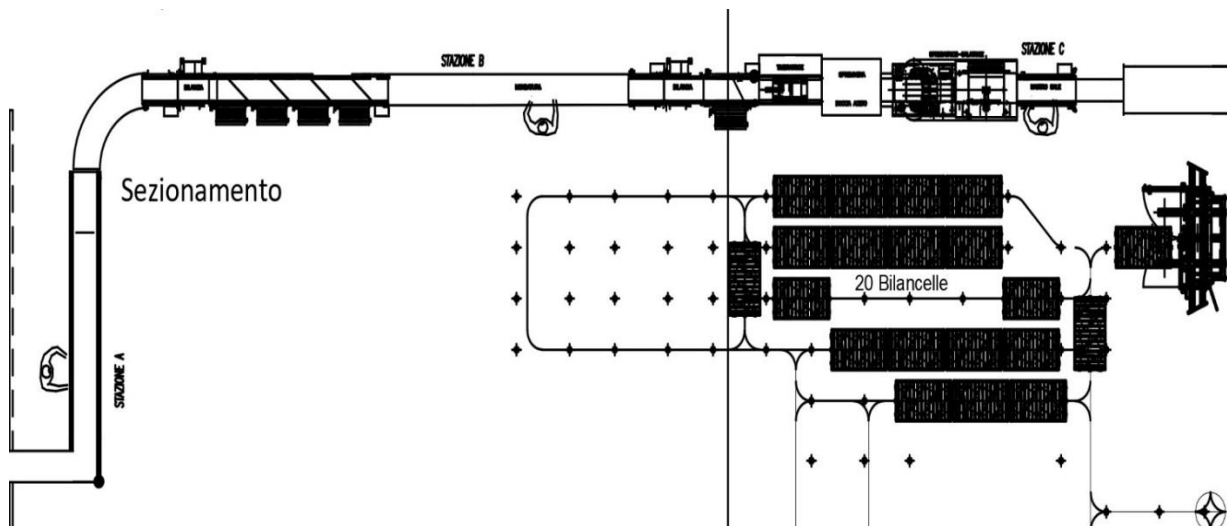


Figura 8 : : Layout parziale delle stazioni A+B+C

Stazioni D+E

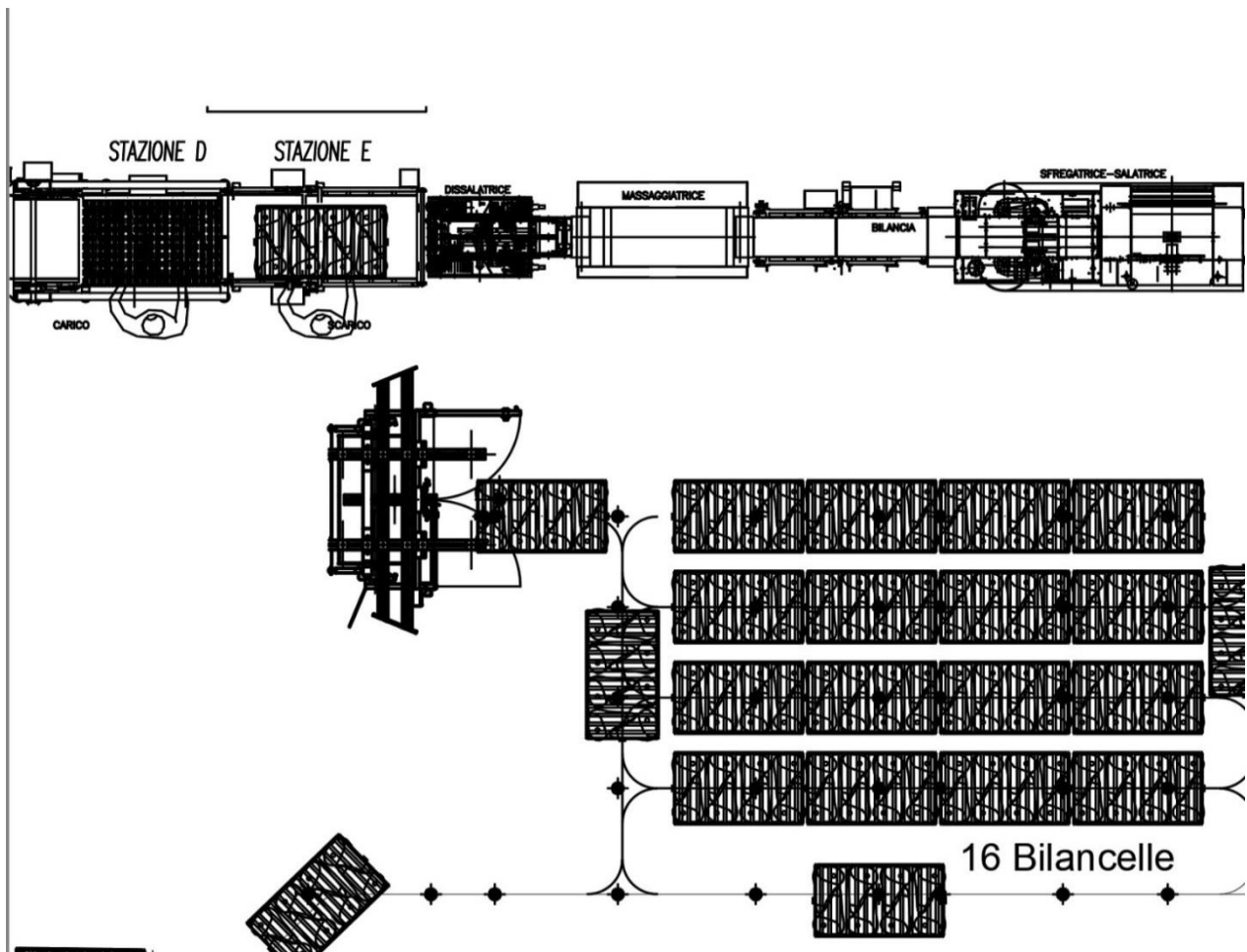


Figura 9 : : Layout parziale delle stazioni D+E

Stazioni F+G+H+I+L+M+N

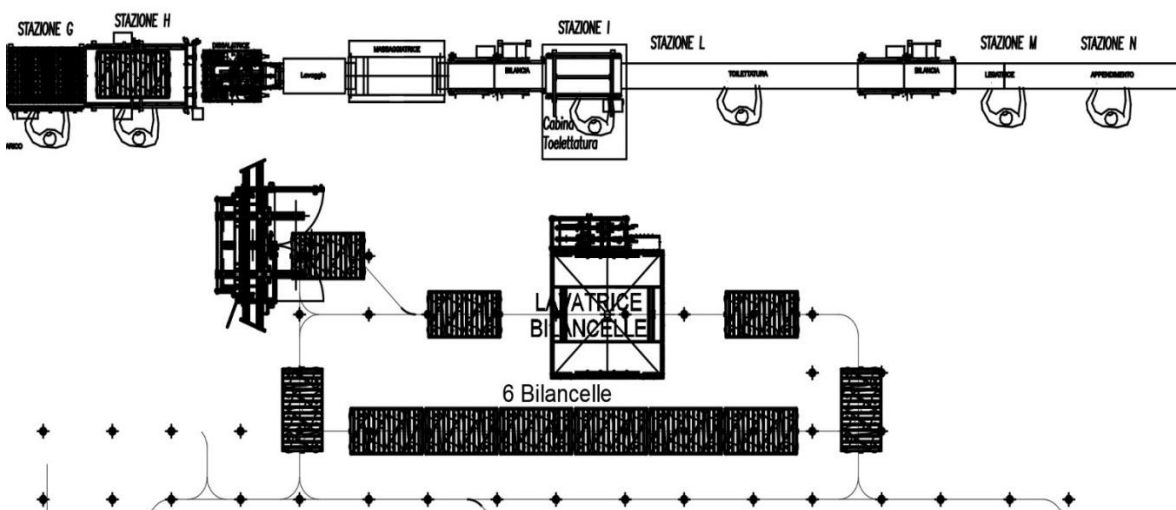


Figura 10 : Layout parziale delle stazioni F+G+H+I+L+M+N

Dopo aver disegnato le stazioni in sequenza con i vincoli di precedenza si passa a rilevare i tempi delle singole attività tramite l'analisi di video estratti dal database dell'azienda di vecchi clienti che per motivi di privacy non si possono elencare nella trattazione.

ATTIVITA' A → RICEVIMENTO

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	20,62
2	19,03
3	19,95
4	20,33
5	21,01
6	18,97
7	19,87
8	20,26
9	20,67
10	19,5
TEMPO MEDIO (s)	20,021

Tabella 1 : Rilevazione tempi attività di ricevimento con singolo operatore

ATTIVITA' B → MONDATURA

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	20,03
2	20,45
3	20,68
4	21,04
5	21,01
6	19,99
7	20,66

8	20,36
9	19,71
10	20,87
TEMPO MEDIO (s)	20,48

Tabella 2 : Rilevazione tempi attività di mondatura con singolo operatore

ATTIVITA' C) → SALATURA

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	15,28
2	15,79
3	15,02
4	14,85
5	15,3
6	16
7	15,37
8	15,46
9	14,9
10	15,95
TEMPO MEDIO (s)	15,392

Tabella 3 : Rilevazione tempi attività di salatura con singolo operatore

ATTIVITA' D) → CARICO PROSCIUTTI PER PRIMO SALE

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	23,38
2	23,79
3	24,16
4	22,87
5	23,56
6	25,02

7	25,76
8	24,46
9	25,25
10	26,22
TEMPO MEDIO (s)	24,447

Tabella 4 : Rilevazione tempi attività di carico prosciutti con singolo operatore

ATTIVITA' E) → SCARICO PROSCIUTTI PER PRIMO SALE

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	24,28
2	25,6
3	26,68
4	23,9
5	24,1
6	24,97
7	23,6
8	24,78
9	26,09
10	25,7
TEMPO MEDIO (s)	24,97

Tabella 5 : Rilevazione tempi attività di scarico prosciutti con singolo operatore

ATTIVITA' F) → SALATURA

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	15,28

2	15,79
3	15,02
4	14,85
5	15,3
6	16
7	15,37
8	15,46
9	14,9
10	15,95
TEMPO MEDIO (s)	15,392

Tabella 6 : Rilevazione tempi attività di salatura con singolo operatore

ATTIVITA' G) → CARICO PROSCIUTTI PER SECONDO SALE

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	23,38
2	23,79
3	24,16
4	22,87
5	23,56
6	25,02
7	25,76
8	24,46
9	25,25
10	26,22
TEMPO MEDIO(s)	24,447

Tabella 7 : Rilevazione tempi attività di carico prosciutti con singolo operatore

ATTIVITA' H) → SCARICO PROSCIUTTI PER APPENDIMENTO

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	24,28
2	25,6
3	26,68
4	23,9
5	24,1
6	24,97
7	23,6
8	24,78
9	26,09
10	25,7
TEMPO MEDIO(s)	24,97

Tabella 8 : Rilevazione tempi attività di scarico prosciutti con singolo operatore

ATTIVITA' I) → CABINA DI TOELETATURA

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	7,11
2	6,8
3	7,2
4	6,2
5	6,87
6	5,98
7	6,23
8	6,06
9	5,8
10	6,32
TEMPO MEDIO(s)	6,457

Tabella 9 : Rilevazione tempi cabina di toelettatura con singolo operatore

ATTIVITA' L) → TOELETTATURA

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	18,28
2	18,37
3	19,6
4	19,27
5	20,22
6	20,4
7	20,89
8	18,25
9	19,57
10	19,2
TEMPO MEDIO(s)	19,405

Tabella 10 : Rilevazione tempi attività di toelettatura con singolo operatore

ATTIVITA' M) → LEGATRICE

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	5,56
2	5,89
3	5,42
4	5,03
5	4,78
6	4,98
7	5,72
8	6,32
9	5,21
10	5,36
TEMPO MEDIO (s)	5,427

Tabella 11 : Rilevazione tempi attività di legatura con singolo operatore

ATTIVITA' N) → APPENDIMENTO

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	3,26
2	3,2
3	3,18
4	3,4
5	3,36
6	3,1
7	3,17
8	3,03
9	3,15
10	3,31
TEMPO MEDIO (s)	3,216

Tabella 12 : Rilevazione tempi attività di appendimento con singolo operatore

Come si vede dalle tabelle sopra riportate i valori critici si hanno nel carico e nello scarico dei prosciutti sia nella fase di primo sale per passare al secondo sale sia dalla fase che dal secondo sale passa all'appendimento. Per le attività di salatura, carico e scarico dei prosciutti si è deciso di tenere le stesse rilevazioni sia per primo che per il secondo sale: le attività sono le medesime, l'unica variabile sarebbe l'errore umano e l'efficienza dell'operatore che però è già stata considerata nel rilevamento tempi del primo sale e che quindi si può ritenere oscilli sempre tra i valori considerati anche nel secondo sale. Analizzando le tabelle possiamo dimensionare l'impianto determinando le stazioni e il numero di operatori necessari. Essendo un sistema a cadenza imposta il tempo ciclo è vincolato ad essere quello più alto tra i tempi delle varie attività ed è quello dello scarico dei prosciutti ovvero $T_c = 29,97$ s. Determiniamo ora il numero di stazioni minime necessarie all'impianto:

$$N^{\circ}\text{stazioni} = \sum_j T_j / T_c$$

$$= \frac{20.021+20.48+15.392+24.447+24.97+15.392+24.447+24.97+6.457+19.405+5.427+3.216}{24.97}$$

= 8,19 s

Quindi approssimando al primo numero intero successivo abbiamo come numero minimo di stazioni 9.

Le stazioni assumerebbero una configurazione di questo tipo :



Figura 11 : Bilanciamento stazioni A+B+C



Figura 12 : Bilanciamento stazioni D+E+F



Figura 13 : Bilanciamento stazioni G+H+I

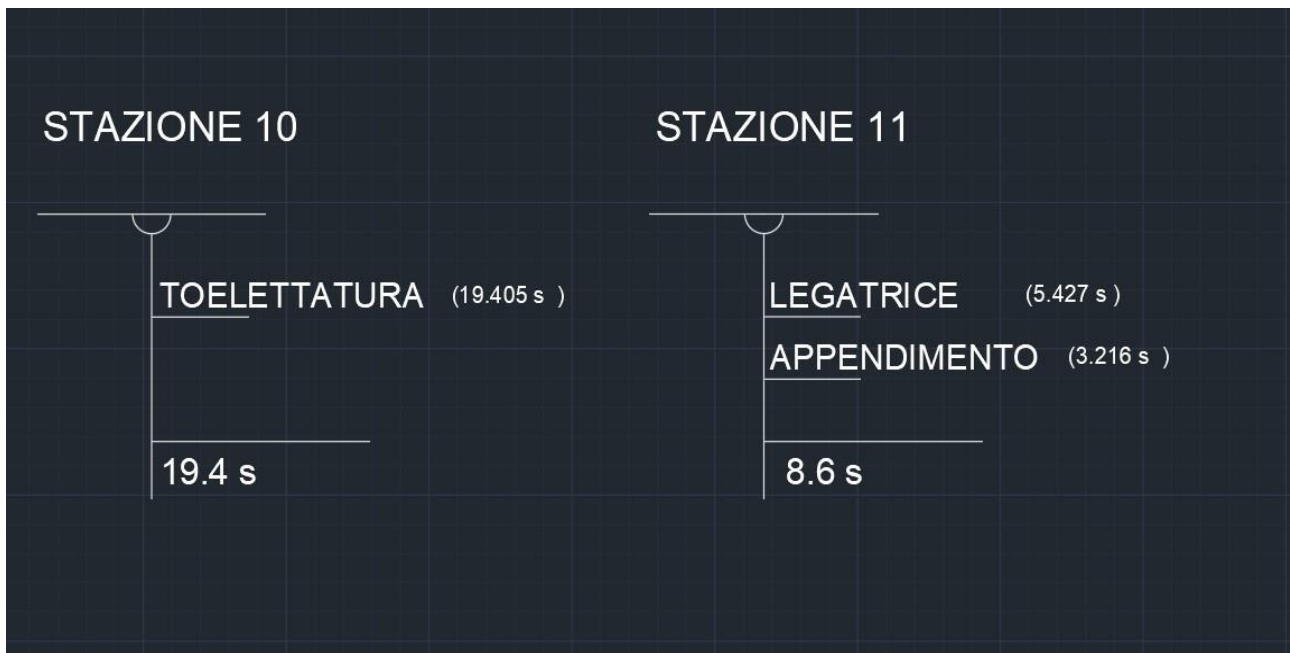


Figura 14 : Bilanciamento stazioni L+M+N

In questo caso le stazioni risultano maggiori del numero minimo per poter rispettare tutti i vincoli di precedenza. La produttività massima del sistema è vincolata dalla stazione di scarico prosciutti (stazioni 5 e 8):

$$Q_{\max} = \frac{3600}{T_c} = \frac{3600}{25} = 144 \text{ Pz/h}$$

4.2.2 Alternativa di dimensionamento

L'alternativa per ridurre il numero di stazioni sarebbe quella di assegnare alla stazione 9 le attività della cabina di toelettatura e di toelettatura e alla stazione 10 le attività di legatura e appendimento risparmiando così un operatore:



Figura 15 : Bilanciamento alternativo stazioni A+B+C

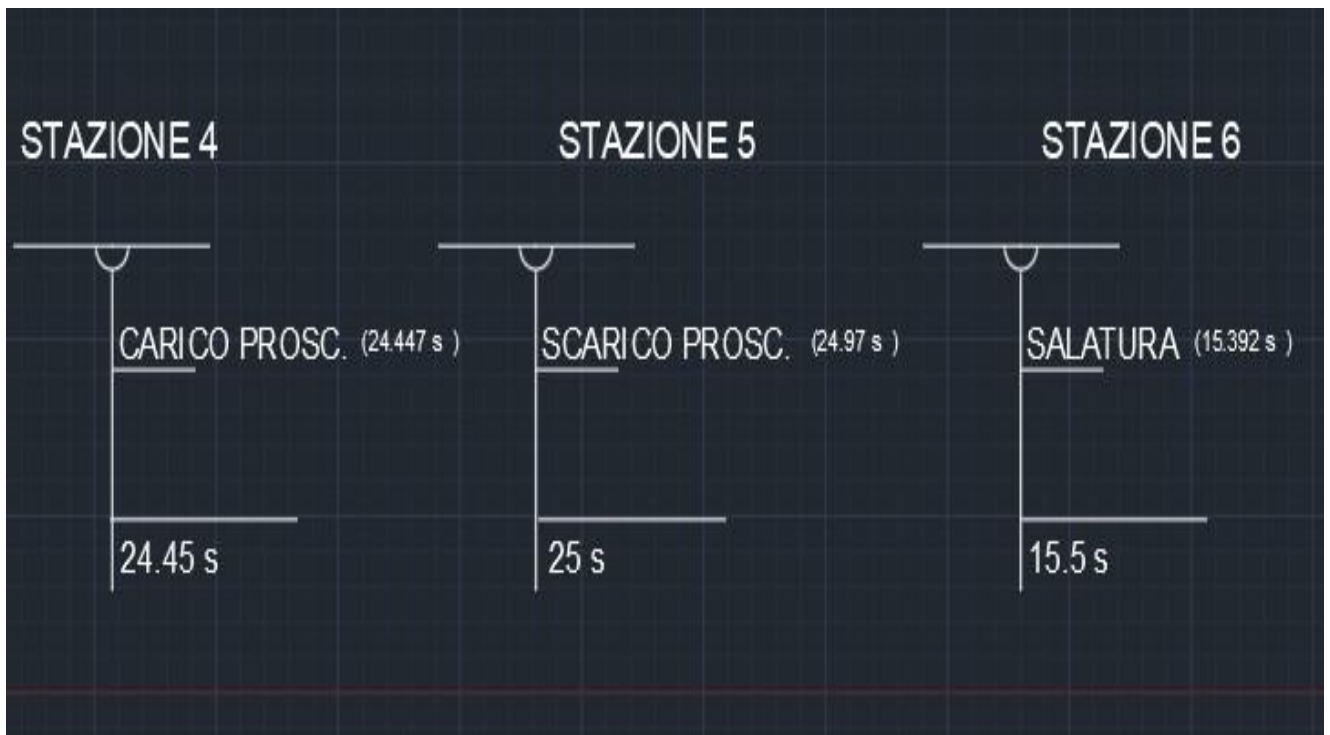


Figura 16 : Bilanciamento alternativo stazioni D+E+F



Figura 17 : Bilanciamento alternativo stazioni G+H



Figura 18 : Bilanciamento alternativo stazioni I+L

Facendo così si risparmia un operatore ma si alza il tempo ciclo passando da 24,5 s a 26 s riducendo la produttività massima:

$$Q_{\max} = \frac{3600}{T_c} = \frac{3600}{26} = 138 \text{ Pz/h}$$

Quindi la differenza di produttività è del 4,3 % ma facendo così risparmio un operatore.

4.2.3. Analisi costi

Analizzando le soluzioni dal punto di vista economico considero i costi relativi alla gestione della produttività del mio impianto e alla non produttività ovvero verifico che i costi di gestione dell'impianto siano convenienti rispetto ai costi di mancato completamento.

Costo operatore (€/h) = 16 €/h

$$\begin{aligned} \text{Costo totale} \left(\frac{\text{€}}{\text{h}} \right) &= \text{Costo totale MDO dir.} + \text{Ctot manc. completamento} = \\ &= \frac{\text{N}^\circ \text{ stazioni} * \text{costo operatore}}{Q} + \sum_j P_j * I_j \end{aligned}$$

$$I_j \left(\frac{\text{€}}{\text{attività}} \right) = \sum_{e \in (S_j + J)} I_e'$$

$$M_j = (\min)$$

$$L_j = \frac{C_{op} * M_j}{60}$$

Il processo prosegue andando a calcolare $F(z_j^*) = 1 - \frac{L_j}{I_j}$ e successivamente ricavando, dalla tabella standardizzata su distribuzione normale, la z^* relativa ad ogni attività. Poi si trovano le z da

$z = \frac{T_c - M_j}{(\sigma_j)^2}$ in modo da poter bilanciare le stazioni individuando le attività sicure, desiderabili, desiderabili e sicure e le attività critiche. Tale procedimento però è stato interrotto all'analisi dei costi per la particolare configurazione dell'impianto e perché il cliente aveva la necessità di avere prevalentemente una sola attività per stazione.

ATTIVITA'	Mj (min)	dev.standard	lj' (€/att)	Lj (€/att)	lj (€/att)	F(z*j)	z*j	zj	Pj
RICEVIMENTO	0,33	0,69	0,2	0,09	3,20	0,972222	1,93	0,14	0,442
MONDATURA	0,34	0,46	0,3	0,09	3,00	0,96963	1,88	0,20	0,427
SALATURA	0,26	0,41	0,1	0,07	2,70	0,97465	1,96	0,43	0,335
CARICO	0,41	1,09	0,3	0,11	2,60	0,958205	1,74	0,02	0,5
SCARICO	0,42	1,02	0,3	0,11	2,30	0,951691	1,67	0,02	0,5
SALATURA	0,26	0,41	0,1	0,07	2,00	0,965556	1,82	0,42	0,33
CARICO	0,41	1,09	0,3	0,11	1,90	0,94269	1,58	0,02	0,5
SCARICO	0,42	1,02	0,3	0,11	1,60	0,930556	1,49	0,02	0,5
CABINA DI TOELETTATURA	0,11	0,50	0,4	0,03	1,30	0,977778	2,01	0,65	0,2578
TOELETTATURA	0,32	0,92	0,3	0,09	0,90	0,904198	1,31	0,12	0,455
LEGATRICE	0,09	0,46	0,3	0,02	0,60	0,959259	1,75	0,74	0,2296
APPENDIMENTO	0,06	0,12	0,3	0,02	0,30	0,94963	1,64	3,24	0

Tabella 13 : Tabella analisi costi per impianto con singoli operatori

STAZIONE 1)

RICEVIMENTO

Il tempo ciclo del sistema è $T_c = 26 \text{ s} = 0.433 \text{ min}$

Costo operatore (€/h) = 16 €/h

Il costo di completamento in linea è :

$$L_1 = \frac{C_{op} * M_j}{60} = 16 * 0,33 / 60 = 0.09 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$I_1 = \sum_{e \in (s_j + j)} I e' = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 + I_7 + I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12}$$

$$= 3,2 \text{ €/pz}$$

Per ogni attività è stato assegnato un tempo medio ricavato dalle rilevazioni nelle tabelle delle pagine precedenti; dal tempo medio e dalle singole rilevazioni delle attività si determina la deviazione standard σ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (t_i - T_{medio})^2}{N-1}} = 0.69$$

$$F(z_1^*) = 1 - \frac{L_1}{I_1} = 0.972222$$

$$P(z_1^*) = 1 - F(z_1^*) = 0.027778$$

Una volta ricavata la probabilità si utilizza la tabella standardizzata su distribuzione normale sottostante e si trova z_j^* :

$$z_1^* = 1.93$$

Ora si può calcolare la z dell'attività :

$$z_1 = (Tc - Mj) / (\sigma j^2) = \frac{0.4333 - 0.33}{0.69^2} = 0.145$$

Con questo valore si torna nella tabella standardizzata su distribuzione normale e si trova la probabilità di mancato completamento.

Probabilità di mancato completamento: $P_1 = 44.2 \%$

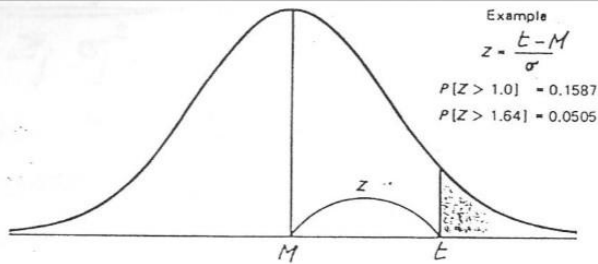
Calcolato z_1 si confronta con z_1^* e si vede che:

$$z_1 < z_1^*$$

cioè

$$0.145 < 1.93$$

Quindi l'attività è critica. Si ripete il procedimento per tutte le stazioni.



Normal Deviate z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	.5000	.4960	.4920	.4880	.4840	.4801	.4761	.4721	.4681	.4641
0.1	.4602	.4562	.4522	.4483	.4443	.4404	.4364	.4325	.4286	.4247
0.2	.4207	.4168	.4129	.4090	.4052	.4013	.3974	.3936	.3897	.3859
0.3	.3821	.3783	.3745	.3707	.3669	.3632	.3594	.3557	.3520	.3483
0.4	.3446	.3409	.3372	.3336	.3300	.3264	.3228	.3192	.3156	.3121
0.5	.3085	.3050	.3015	.2981	.2946	.2912	.2877	.2843	.2810	.2776
0.6	.2743	.2709	.2676	.2643	.2611	.2578	.2546	.2514	.2483	.2451
0.7	.2420	.2389	.2358	.2327	.2296	.2266	.2236	.2206	.2177	.2148
0.8	.2119	.2090	.2061	.2033	.2005	.1977	.1949	.1922	.1894	.1867
0.9	.1841	.1814	.1788	.1762	.1736	.1711	.1685	.1660	.1635	.1611
1.0	.1587	.1562	.1539	.1515	.1492	.1469	.1446	.1423	.1401	.1379
1.1	.1357	.1335	.1314	.1292	.1271	.1251	.1230	.1210	.1190	.1170
1.2	.1151	.1131	.1112	.1093	.1075	.1056	.1038	.1020	.1003	.0985
1.3	.0968	.0951	.0934	.0918	.0901	.0885	.0869	.0853	.0838	.0823
1.4	.0808	.0793	.0778	.0764	.0749	.0735	.0721	.0708	.0694	.0681
1.5	.0668	.0655	.0643	.0630	.0618	.0606	.0594	.0582	.0571	.0559
1.6	.0548	.0537	.0526	.0516	.0505	.0495	.0485	.0475	.0465	.0455
1.7	.0446	.0436	.0427	.0418	.0409	.0401	.0392	.0384	.0375	.0367
1.8	.0359	.0351	.0344	.0336	.0329	.0322	.0314	.0307	.0301	.0294
1.9	.0287	.0281	.0274	.0268	.0262	.0256	.0250	.0244	.0239	.0233
2.0	.0228	.0222	.0217	.0212	.0207	.0202	.0197	.0192	.0188	.0183
2.1	.0179	.0174	.0170	.0166	.0162	.0158	.0154	.0150	.0146	.0143
2.2	.0139	.0136	.0132	.0129	.0125	.0122	.0119	.0116	.0113	.0110
2.3	.0107	.0104	.0102	.0099	.0096	.0094	.0091	.0089	.0087	.0084
2.4	.0082	.0080	.0078	.0075	.0073	.0071	.0069	.0068	.0066	.0064
2.5	.0062	.0060	.0059	.0057	.0055	.0054	.0052	.0051	.0049	.0048
2.6	.0047	.0045	.0044	.0043	.0041	.0040	.0039	.0038	.0037	.0036
2.7	.0035	.0034	.0033	.0032	.0031	.0030	.0029	.0028	.0027	.0026
2.8	.0026	.0025	.0024	.0023	.0023	.0022	.0021	.0021	.0020	.0019
2.9	.0019	.0018	.0018	.0017	.0016	.0016	.0015	.0015	.0014	.0014
3.0	.0013	.0013	.0013	.0012	.0012	.0011	.0011	.0011	.0010	.0010

Tabella 14 : Tabella standardizzata su distribuzione normale

STAZIONE 2)

MONDATURA

Il costo di completamento in linea è :

$$L_2 = \frac{C_{op} * M_j}{60} = 16 * 0,34 / 60 = 0.09 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$I_2 = \sum_{\epsilon(s_j+j)} I e' = I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 + I_7 + I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12}$$

$$= 3 \text{ €/pz}$$

$$\sigma = 0.46$$

$$F(z_2^*) = 1 - \frac{L_2}{I_2} = 0.96963$$

Dai valori della tabella standardizzata su distribuzione normale trovo $z_2^* = 1.88$

$$Z_2 = (Tc - Mj)/(\sigma j^2) = 0.201$$

Probabilità di mancato completamento: $P_2 = 42.7\%$

Calcolato z_2 si confronta con z_2^* e si vede che:

$$z_2 < z_2^*$$

cioè

$$0.201 < 1.88$$

Quindi l'attività è critica.

STAZIONE 3)

SALATURA

Il costo di completamento in linea è :

$$L_3 = \frac{Cop * Mj}{60} = 16 * 0,26 / 60 = 0.07 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$I_3 = \sum_{e \in (Sj+J)} Ie' = I_3 + I_4 + I_5 + I_6 + I_7 + I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12}$$

$$= 2.7 \text{ €/pz}$$

$$\sigma = 0.41$$

$$F(z_3^*) = 1 - \frac{L_3}{I_3} = 0.97465$$

Dai valori della tabella standardizzata su distribuzione normale trovo $z_3^* = 1.96$

$$Z_3 = (Tc - Mj)/(\sigma j^2) = 0.427$$

Probabilità di mancato completamento: $P_3 = 33.5 \%$

Calcolato z_3 si confronta con z_3^* e si vede che:

$$z_3 < z_3^*$$

cioè

$$0.427 < 1.96$$

Quindi l'attività è critica.

STAZIONE 4)

CARICO

Il costo di completamento in linea è :

$$L_4 = \frac{Cop * Mj}{60} = 16 * 0,41 / 60 = 0.11 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$I_4 = \sum_{i \in (Sj+J)} Ie' = I_4 + I_5 + I_6 + I_7 + I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12}$$

$$= 2.6 \text{ €/pz}$$

$$\sigma = 1.09$$

$$F(z_4^*) = 1 - \frac{L_4}{I_4} = 0.958205$$

Dai valori della tabella standardizzata su distribuzione normale trovo $z_4^* = 1.74$

$$Z_4 = (Tc - Mj)/(\sigma j^2) = 0.024$$

Probabilità di mancato completamento: $P_4 = 50 \%$

Calcolato z_4 si confronta con z_4^* e si vede che:

$$z_4 < z_4^*$$

cioè

$$0.024 < 1.74$$

Quindi l'attività è critica.

STAZIONE 5)

SCARICO

Il costo di completamento in linea è :

$$L_5 = \frac{C_{op} * M_j}{60} = 16 * 0,42 / 60 = 0.11 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$I_5 = \sum_{e \in (S_j + J)} I e' = I_5 + I_6 + I_7 + I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12}$$

$$= 2.3 \text{ €/pz}$$

$$\sigma = 1.02$$

$$F(z_5^*) = 1 - \frac{L_4}{I_4} = 0.951691$$

Dai valori della tabella standardizzata su distribuzione normale trovo $z_5^* = 1.67$

$$Z_5 = (Tc - M_j) / (\sigma j^2) = 0.016$$

Probabilità di mancato completamento: $P_5 = 50 \%$

Calcolato z_5 si confronta con z_5^* e si vede che:

$$z_5 < z_5^*$$

cioè

$$0.016 < 1.67$$

Quindi l'attività è critica.

STAZIONE 6)

SALATURA

Il costo di completamento in linea è :

$$L_6 = \frac{C_{op} * M_j}{60} = 16 * 0,26 / 60 = 0.07 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$I_6 = \sum_{e \in (S_j + J)} I e' = I_6 + I_7 + I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12}$$

$$= 2 \text{ €/pz}$$

$$\sigma = 0.41$$

$$F(z_6^*) = 1 - \frac{L_4}{I_4} = 0.965556$$

Dai valori della tabella standardizzata su distribuzione normale trovo $z_6^* = 1.82$

$$Z_6 = (Tc - M_j) / (\sigma j^2) = 0.423$$

Probabilità di mancato completamento: $P_6 = 33 \%$

Calcolato z_6 si confronta con z_6^* e si vede che:

$$z_6 < z_6^*$$

cioè

$$0.423 < 1.82$$

Quindi l'attività è critica.

STAZIONE 7)

CARICO

Il costo di completamento in linea è :

$$L_7 = \frac{Cop * Mj}{60} = 16 * 0,41 / 60 = 0.11 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$I_7 = \sum_{e \in (Sj+J)} Ie' = I_7 + I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12}$$

$$= 1.90 \text{ €/pz}$$

$$\sigma = 1.09$$

$$F(z_7^*) = 1 - \frac{L_7}{I_7} = 0.94269$$

Dai valori della tabella standardizzata su distribuzione normale trovo $z_7^* = 1.58$

$$Z_7 = (Tc - Mj) / (\sigma j^2) = 0.023$$

Probabilità di mancato completamento: $P_7 = 50 \%$

Calcolato z_7 si confronta con z_7^* e si vede che:

$$z_7 < z_7^*$$

cioè

$$0.023 < 1.58$$

Quindi l'attività è critica.

STAZIONE 8)

SCARICO

Il costo di completamento in linea è :

$$L_8 = \frac{Cop * Mj}{60} = 16 * 0,42 / 60 = 0.11 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$I_8 = \sum_{e \in (Sj+J)} Ie' = I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12}$$
$$= 1.60 \text{ €/pz}$$

$$\sigma = 1.02$$

$$F(z_8^*) = 1 - \frac{L_8}{I_8} = 0.930556$$

Dai valori della tabella standardizzata su distribuzione normale trovo $z_8^* = 1.49$

$$Z_8 = (Tc - Mj) / (\sigma j^2) = 0.016$$

Probabilità di mancato completamento: $P_8 = 50\%$

Calcolato z_8 si confronta con z_8^* e si vede che:

$$z_8 < z_8^*$$

cioè

$$0.016 < 1.49$$

Quindi l'attività è critica.

STAZIONE 9)

CABINA DI TOELETTATURA

Il costo di completamento in linea è :

$$L_9 = \frac{C_{op} * Mj}{60} = 16 * 0.11 / 60 = 0.03 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$I_9 = \sum_{e \in (Sj+J)} Ie' = I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12}$$
$$= 1.3 \text{ €/pz}$$

$$\sigma = 0.5$$

$$F(z_9^*) = 1 - \frac{L_9}{I_9} = 0.977778$$

Dai valori della tabella standardizzata su distribuzione normale trovo $z_9^* = 2.01$

$$Z_9 = (Tc - Mj)/(\sigma j^2) = 0.654$$

Probabilità di mancato completamento: $P_9 = 25.78 \%$

Calcolato z_9 si confronta con z_9^* e si vede che:

$$z_9 < z_9^*$$

cioè

$$0.654 < 2.01$$

Quindi l'attività è critica.

STAZIONE 10)

TOELETTATURA

Il costo di completamento in linea è :

$$L_{10} = \frac{COP * Mj}{60} = 16 * 0.32 / 60 = 0.09 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$I_{10} = \sum_{e \in (Sj+J)} Ie' = I_{10} + I_{11} + I_{12}$$

$$= 0.9 \text{ €/pz}$$

$$\sigma = 0.92$$

$$F(z_{10}^*) = 1 - \frac{L_{10}}{I_{10}} = 0.904198$$

Dai valori della tabella standardizzata su distribuzione normale trovo $z_{10}^* = 1.31$

$$Z_{10} = (Tc - Mj) / (\sigma j^2) = 0.119$$

Probabilità di mancato completamento: $P_{10} = 45.5 \%$

Calcolato z_{10} si confronta con z_{10}^* e si vede che:

$$z_{10} < z_{10}^*$$

cioè

$$0.119 < 1.31$$

Quindi l'attività è critica.

STAZIONE 11)

LEGATRICE

Il costo di completamento in linea è :

$$L_{11} = \frac{COP * Mj}{60} = 16 * 0.09 / 60 = 0.02 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$I_{11} = \sum_{e \in (Sj+J)} Ie' = I_{11} + I_{12}$$

$$= 0.6 \text{ €/pz}$$

$$\sigma = 0.46$$

$$F(z_{11}^*) = 1 - \frac{L_{11}}{I_{11}} = 0.959259$$

Dai valori della tabella standardizzata su distribuzione normale trovo $z_{11}^* = 1.75$

$$Z_{11} = (Tc - Mj) / (\sigma j^2) = 0.735$$

Probabilità di mancato completamento: $P_{11} = 22.96 \%$

Calcolato z_{11} si confronta con z_{11}^* e si vede che:

$$z_{11} < z_{11}^*$$

cioè

$$0.735 < 1.75$$

Quindi l'attività è critica.

STAZIONE 12)

APPENDIMENTO

Il costo di completamento in linea è :

$$L_{12} = \frac{C_{op} * M_j}{60} = 16 * 0.06 / 60 = 0.02 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$I_{12} = \sum_{e \in (S_j + J)} I e' = I_{12}$$

$$= 0.3 \text{ €/pz}$$

$$\sigma = 0.12$$

$$F(z_{12}^*) = 1 - \frac{L_{12}}{I_{12}} = 0.94963$$

Dai valori della tabella standardizzata su distribuzione normale trovo $z_{12}^* = 1.64$

$$Z_{12} = (Tc - M_j) / (\sigma_j^2) = 3.243$$

Probabilità di mancato completamento: $P_{12} = 0 \%$

Calcolato z_{12} si confronta con z_{12}^* e si vede che:

$$z_{12} > z_{12}^*$$

cioè

$$3.243 > 1.64$$

Quindi l'attività è sicura: $z_{12} > 2.575$

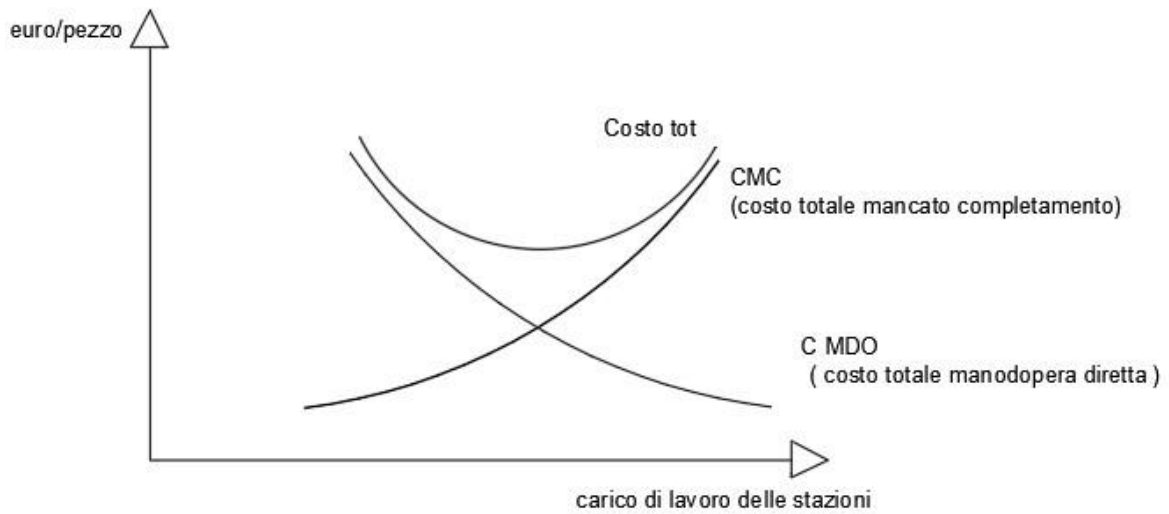


Figura 19 : Grafico analisi costi

$$\begin{aligned} C_{TOT} &= C_{TOTMDO} + C_{TOTMANC.COMPL} = \\ &= \frac{N^{\circ}operatori * Cop}{q} + \sum_j P_j * I_j \\ &= \frac{12 * 16}{144} + 9.34 = 1.33 + 9.34 \\ &= 10.7 \text{ €/pz} \end{aligned}$$

Il costo così elevato del pezzo è dovuto al fatto che la maggior parte delle stazioni sono critiche ($z_j < z_j^*$) e quindi la probabilità di mancato completamento è alta.

4.3 Impianto con operatori in parallelo

4.3.1 Dimensionamento dell'impianto e rilevamento tempi

Una prima soluzione per aumentare la produttività consiste nell'inserire nelle stazioni saturate o in quelle più vicine alla saturazione degli operatori in parallelo. Questa è una soluzione rapida dal punto di vista della progettazione e poco impattante. L'unica differenza dal punto di vista meccanico quindi, rispetto alla soluzione precedente, riguarda gli ingombri dei nastri trasportatori che andranno allungati per consentire l'inserimento di più operatori. La configurazione dell'impianto rimarrebbe inalterata:

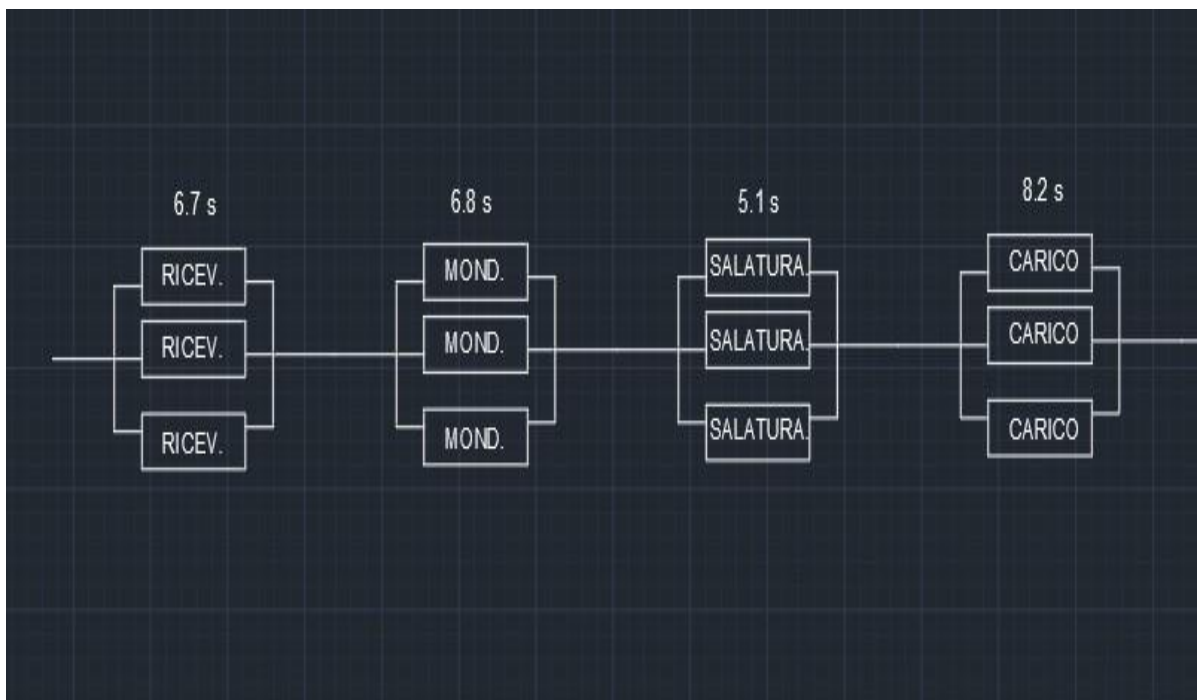


Figura 20 : Bilanciamento stazioni A+B+C+D con operatori in parallelo

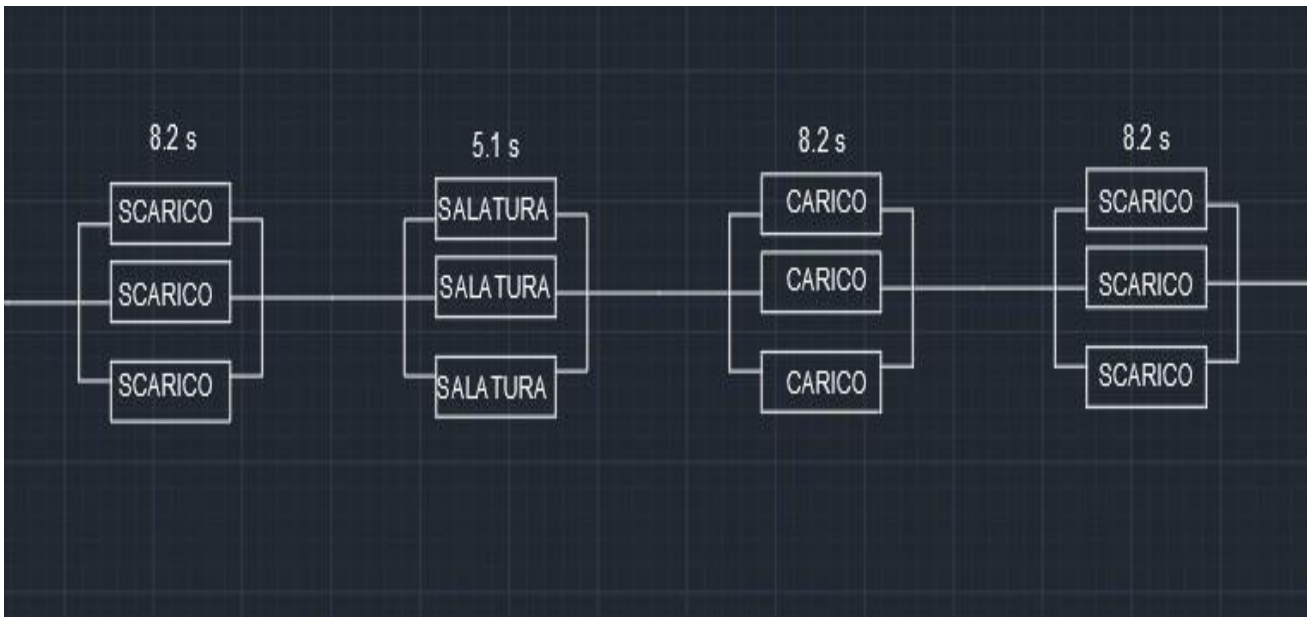


Figura 21 : Bilanciamento stazioni E+F+G+H con operatori in parallelo

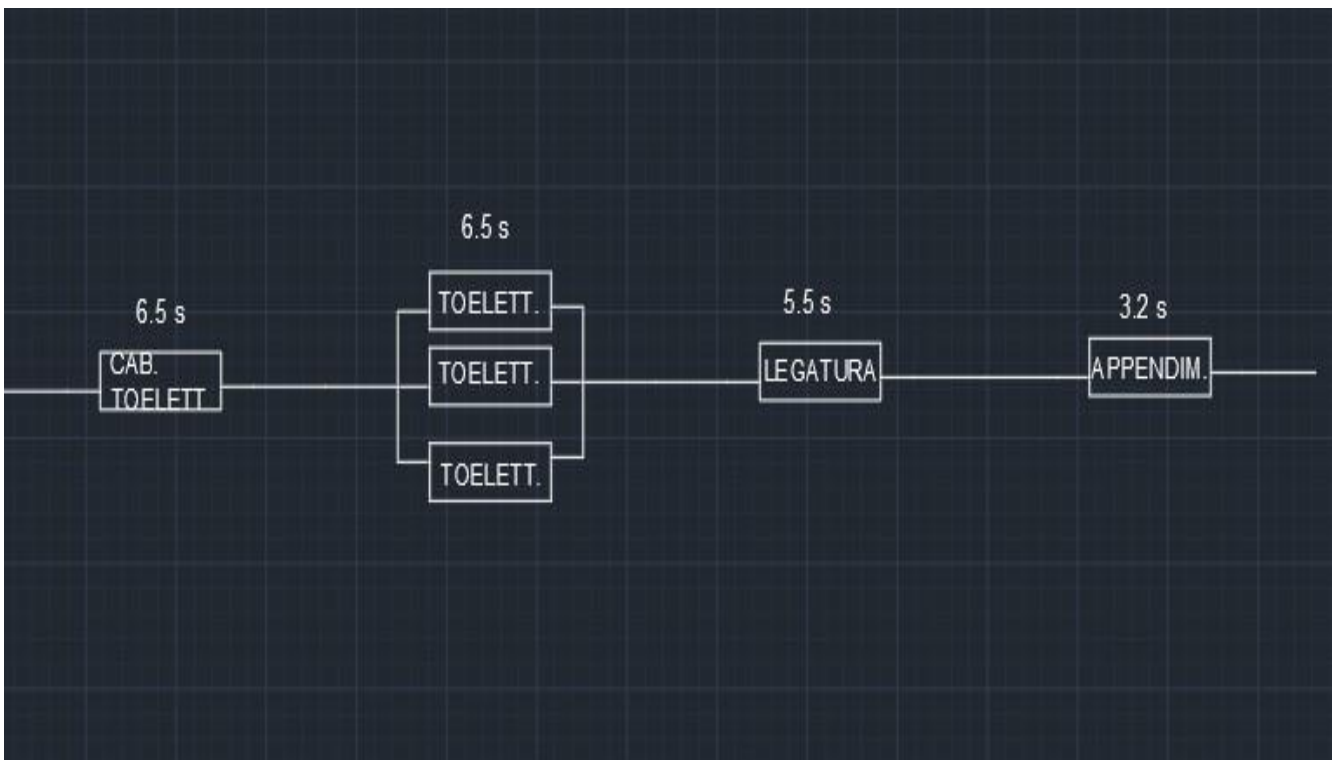


Figura 22 : Bilanciamento stazioni I+L+M+N con operatori in parallelo

Il layout completo resta lo stesso del precedente con la sola differenza dell'inserimento di più operatori nelle linee critiche.

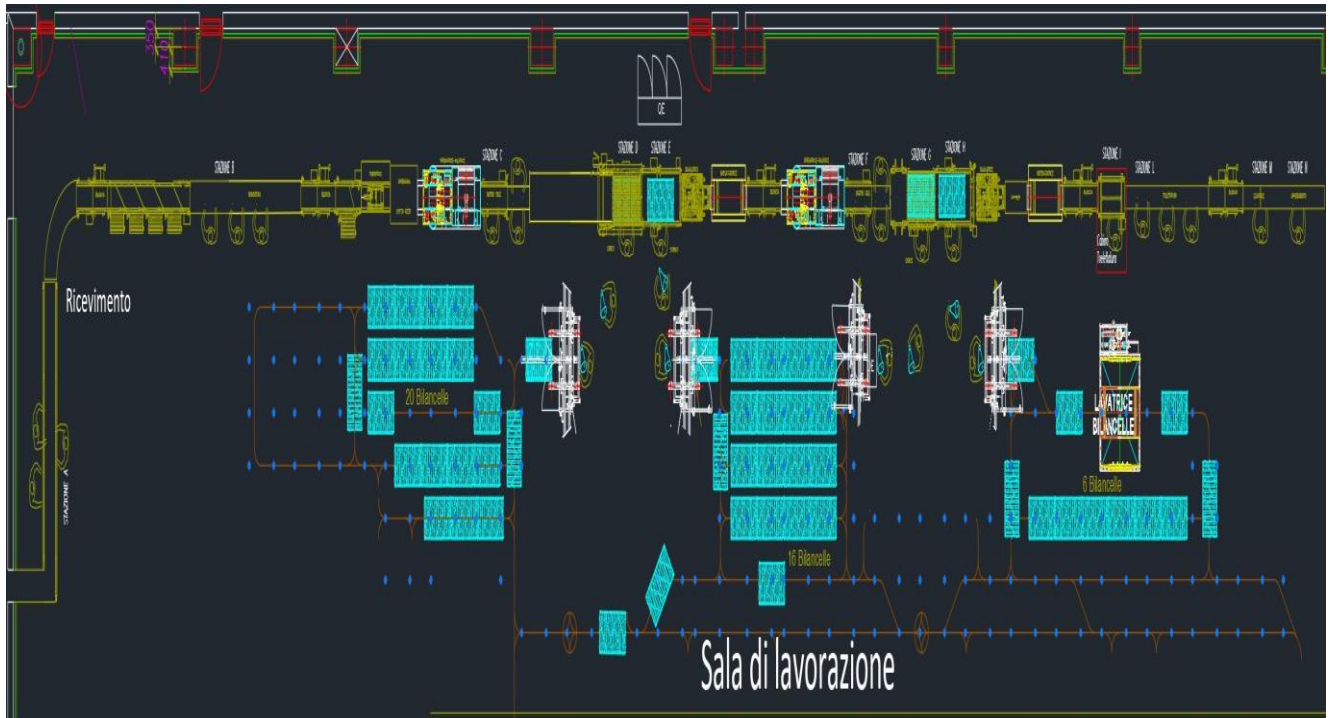


Figura 23 : Layout completo impianto con operatori in parallelo

Stazioni A+B+C :

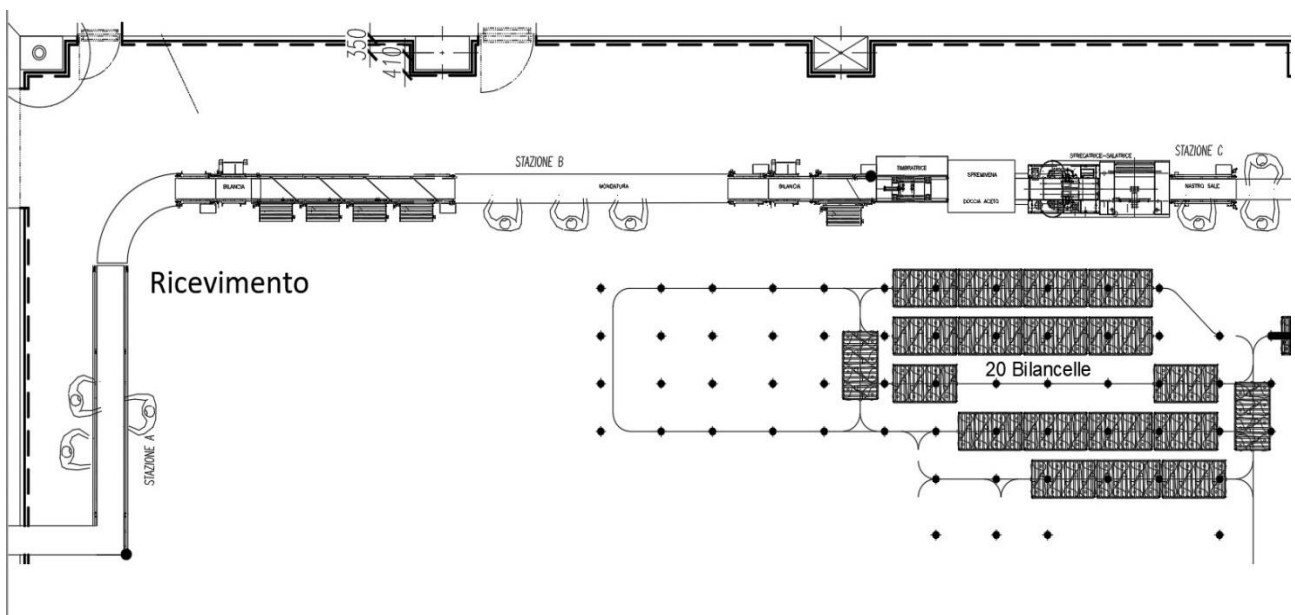


Figura 24 : Layout parziale impianto con operatori in parallelo stazioni A+B+C

Stazioni D+E :

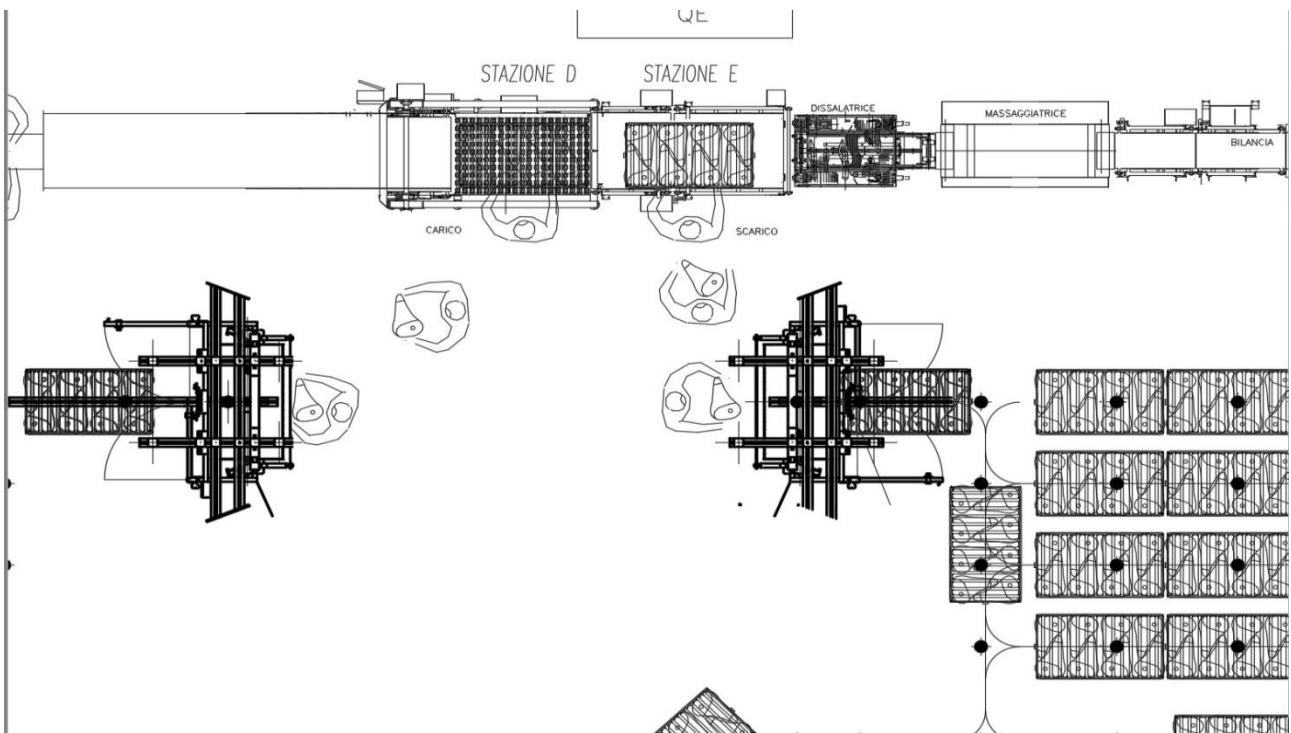


Figura 25 : Layout parziale impianto con operatori in parallelo stazioni D+E

Stazioni F+G+H

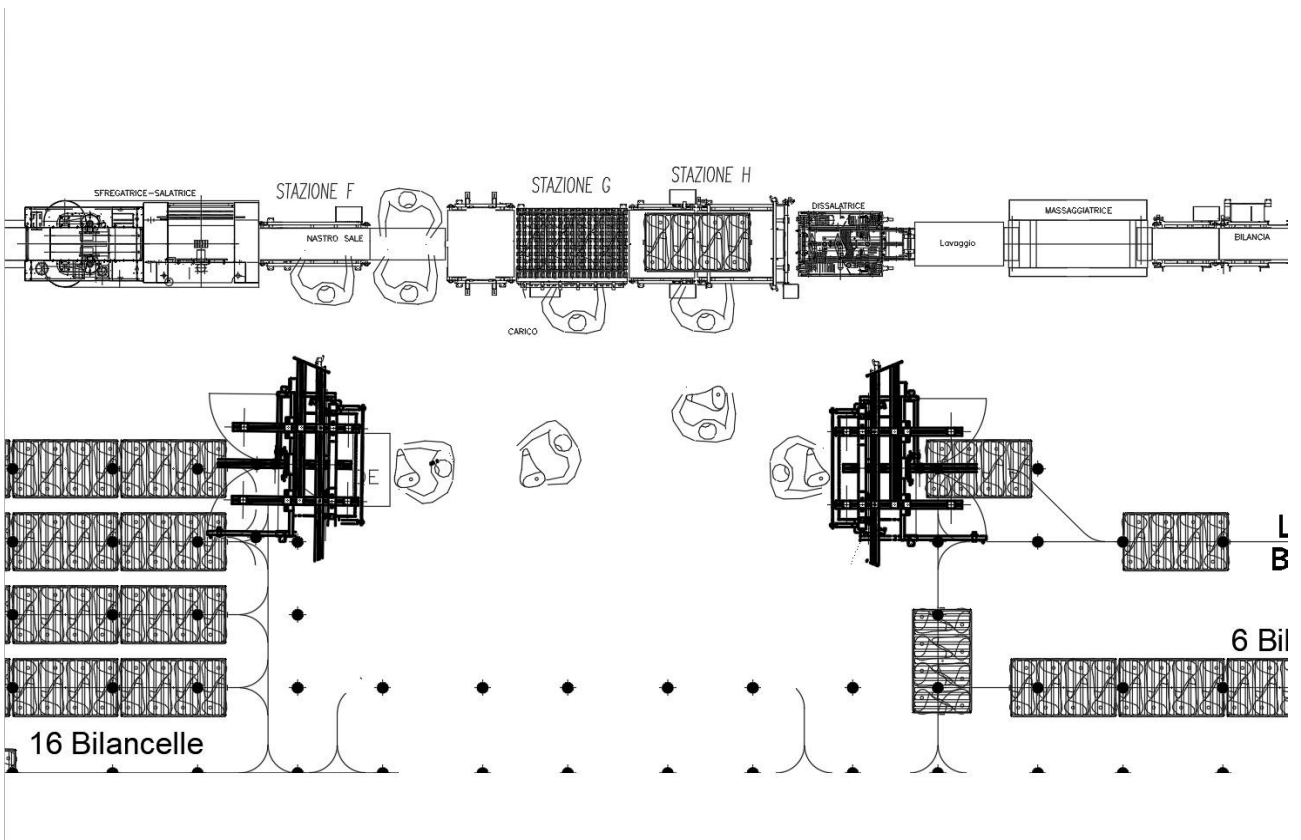


Figura 26 : Layout parziale impianto con operatori in parallelo stazioni F+G+H

Stazioni I+L+M+N

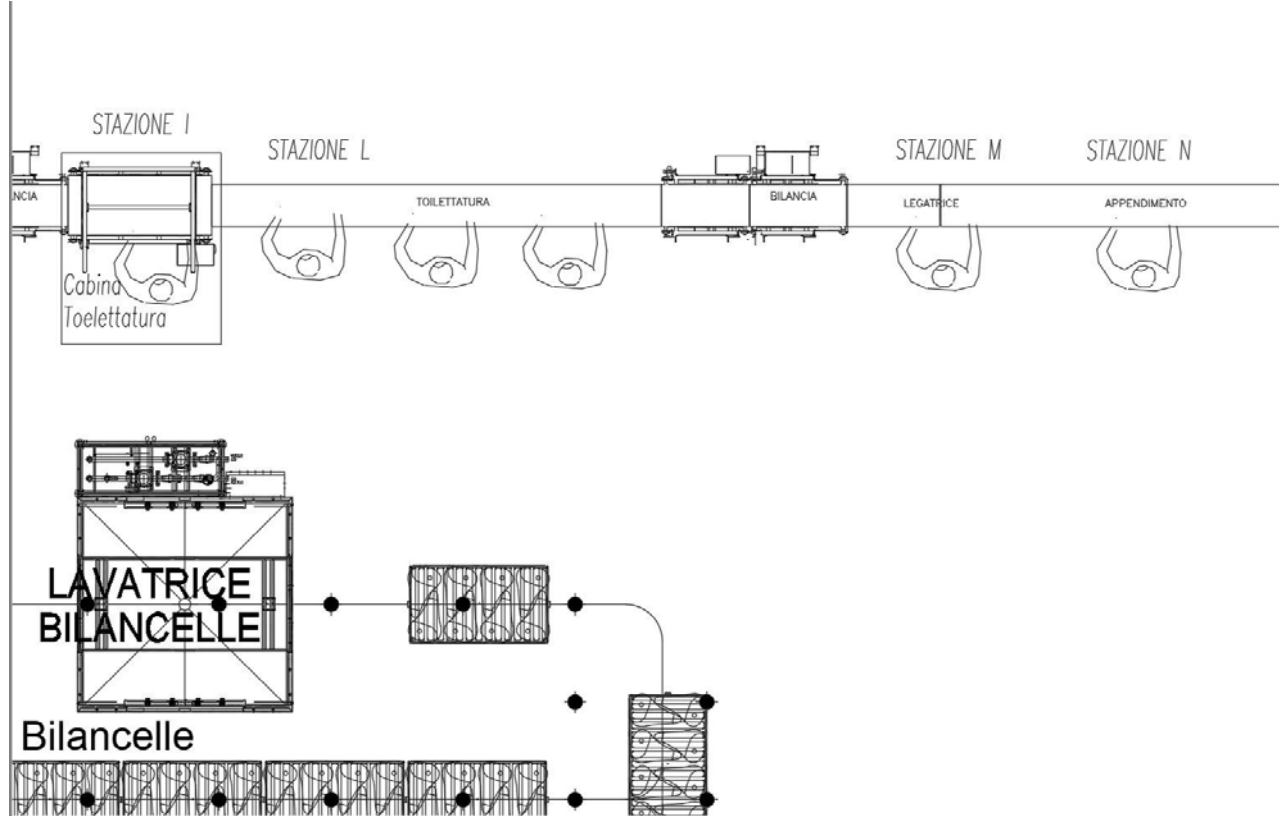


Figura 27 : Layout parziale impianto con operatori in parallelo stazioni I+L+M+N

Inserendo gli operatori in parallelo diminuiscono i tempi delle stazioni: è stato scelto di inserire tre operatori in tutte le stazioni tranne che in quelle con tempi sensibilmente più brevi come la cabina di toelettatura, la legatrice e l'appendimento. I tempi delle stazioni con gli operatori in parallelo diventano :

ATTIVITA' A) → RICEVIMENTO

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	20,62
2	19,03
3	19,95
4	20,33
5	21,01
6	18,97
7	19,87
8	20,26

9	20,67
10	19,5
TEMPO MEDIO (s)	20,021

N°OPERATORI 3

STAZIONE A

RICEVIMENTO

TEMPO MEDIO (s)	6,674
------------------------	--------------

Tabella 15 : Rilevazione tempi attività di ricevimento con operatori in parallelo

ATTIVITA' B) → MONDATURA

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	20,03
2	20,45
3	20,68
4	21,04
5	21,01
6	19,99
7	20,66
8	20,36
9	19,71
10	20,87
TEMPO MEDIO (s)	20,48

N°OPERATORI 3
STAZIONE B
MONDATURA

TEMPO MEDIO	
(s)	6,82666667

Tabella 16 : Rilevazione tempi attività di mondatura con operatori in parallelo

ATTIVITA' C) → SALATURA

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	15,28
2	15,79
3	15,02
4	14,85
5	15,3
6	16
7	15,37
8	15,46
9	14,9
10	15,95
TEMPO MEDIO (s)	15,392

N°OPERATORI 3
STAZIONE C
SALATURA

TEMPO MEDIO	
(s)	5,13066667

Tabella 17 : Rilevazione tempi attività di salatura con operatori in parallelo

ATTIVITA' D) → CARICO PROSCIUTTI PER PRIMO SALE

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	23,38
2	23,79
3	24,16
4	22,87
5	23,56
6	25,02
7	25,76
8	24,46
9	25,25
10	26,22
TEMPO MEDIO	
(s)	24,447

N°OPERATORI 3
 STAZIONE D
**CARICO PROSCIUTTI PER PRIMO
 SALE**

TEMPO MEDIO (s) 8,149

Tabella 18 : Rilevazione tempi attività di carico prosciutti con operatori in parallelo

ATTIVITA' E) → SCARICO PROSCIUTTI PE PRIMO SALE

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	24,28
2	25,6
3	26,68
4	23,9
5	24,1
6	24,97
7	23,6
8	24,78
9	26,09
10	25,7
TEMPO MEDIO (s)	24,97

N°OPERATORI 3
 STAZIONE E
 SCARICO PROSCIUTTI PER
 SECONDO SALE

TEMPO MEDIO (s) 8,32333333

Tabella 19 : Rilevazione tempi attività di scarico prosciutti con operatori in parallelo

ATTIVITA' F) → SALATURA

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	15,28
2	15,79
3	15,02
4	14,85
5	15,3

6	16
7	15,37
8	15,46
9	14,9
10	15,95
TEMPO MEDIO (s)	15,392

N°OPERATORI 3

STAZIONE F

SALATURA

TEMPO MEDIO (s)	5,13066667
------------------------	-------------------

Tabella 20 : Rilevazione tempi attività di salatura con operatori in parallelo

ATTIVITA' G) → CARICO PROSCIUTTI PER SECONDO SALE

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	23,38
2	23,79
3	24,16
4	22,87
5	23,56
6	25,02
7	25,76
8	24,46
9	25,25
10	26,22
TEMPO MEDIO (s)	24,447

N°OPERATORI 3
 STAZIONE G
**CARICO PROSCIUTTI PER IL SECONDO
 SALE**

TEMPO MEDIO (s)	8,149
------------------------	--------------

Tabella 21 : Rilevazione tempi attività di carico prosciutti con operatori in parallelo

ATTIVITA' H) → SCARICO PROSCIUTTI PER APPENDIMENTO

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	24,28
2	25,6
3	26,68
4	23,9
5	24,1
6	24,97
7	23,6
8	24,78
9	26,09
10	25,7
TEMPO MEDIO (s)	24,97

N°OPERATORI 3
 STAZIONE H
**SCARICO PROSCIUTTI PER
 APPENDIMENTO**

TEMPO MEDIO (s)	8,32333333
------------------------	-------------------

Tabella 22 : Rilevazione tempi attività di scarico prosciutti con operatori in parallelo

ATTIVITA' I) → CABINA DI TOELETTATURA

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	7,11
2	6,8
3	7,2
4	6,2
5	6,87
6	5,98
7	6,23
8	6,06
9	5,8
10	6,32
TEMPO MEDIO (s)	6,457

STAZIONE I

CABINA DI

TOELETTATURA

TEMPO MEDIO (s)	6,457
------------------------	--------------

Tabella 23: Rilevazione tempi cabina di toelettatura con operatori in parallelo

ATTIVITA' L) → TOELETTATURA

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	18,28
2	18,37
3	19,6
4	19,27

5	20,22
6	20,4
7	20,89
8	18,25
9	19,57
10	19,2
TEMPO MEDIO (s)	19,405

N°OPERATORI 3

STAZIONE L

TOELETTATURA

TEMPO MEDIO	
(s)	6,46833333

Tabella 24 : Rilevazione tempi attività di toelettatura con operatori in parallelo

ATTIVITA' M) → LEGATRICE

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	5,56
2	5,89
3	5,42
4	5,03
5	4,78
6	4,98
7	5,72
8	6,32
9	5,21
10	5,36
TEMPO MEDIO (s)	5,427

STAZIONE M

LEGATRICE

TEMPO MEDIO (s)	5,427
-----------------	-------

Tabella 25 : Rilevazione tempi attività di legatura

ATTIVITA' N) → APPENDIMENTO

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	3,26
2	3,2
3	3,18
4	3,4
5	3,36
6	3,1
7	3,17
8	3,03
9	3,15
10	3,31
TEMPO MEDIO (s)	3,216

STAZIONE N

APPENDIMENTO

TEMPO MEDIO (s)	3,216
-----------------	-------

Tabella 26 : Rilevazione tempi attività di appendimento

Le stazioni collo di bottiglia restano sempre quelle di scarico dei prosciutti sia al primo che al secondo sale. Il tempo ciclo però si abbassa notevolmente e diventa:

$$T_c = 8,3 \text{ s}$$

La produttività massima risulterà quindi :

$$Q_{\max} = \frac{3600}{T_c} = \frac{3600}{8,3} = 433 \text{ Pz/h}$$

E' triplicata rispetto al caso di stazioni con operatore singolo.

4.3.2 Analisi costi

Ovviamente in tale configurazione il numero di operatori è aumentato comportando un notevole aumento di costi di manodopera: siamo passati da undici operatori a 30 con un aumento dei costi.

In compenso la produttività è aumentata di molto e si è abbassato il rischio di mancato completamento.

ATTIVITA'	Mj (min)	dev.standard	lj' (€/att)	Lj (€/att)	lj (€/att)	F(z*)	z*	zj	Pj	n°operatori
RICEVIMENTO	0,33	0,69	0,2	0,09	3,2	0,972222	1,93	1,40	0,0808	3
MONDATURA	0,34	0,46	0,3	0,09	3	0,96963	1,88	2,10	0,0179	3
SALATURA	0,26	0,41	0,1	0,07	2,7	0,97465	1,95	2,52	0,0059	3
CARICO	0,41	1,09	0,3	0,11	2,6	0,958205	1,74	0,82	0,2061	3
SCARICO	0,42	1,02	0,3	0,11	2,3	0,951691	1,66	0,86	0,1949	3
SALATURA	0,26	0,41	0,1	0,07	2	0,965556	1,83	2,52	0,0059	3
CARICO	0,41	1,09	0,3	0,11	1,9	0,94269	1,58	0,82	0,2061	3
SCARICO	0,42	1,02	0,3	0,11	1,6	0,930556	1,48	0,86	0,1949	3
CABINA DI TOELETATURA	0,11	0,50	0,4	0,03	1,3	0,977778	2,01	0,65	0,2578	1
TOELETATURA	0,32	0,92	0,3	0,09	0,9	0,904198	1,31	1,06	0,1446	3
LEGATRICE	0,09	0,46	0,3	0,02	0,6	0,959259	1,74	0,74	0,2296	1
APPENDIMENTO	0,06	0,12	0,3	0,02	0,3	0,94963	1,64	3,24	0	1

Tabella 27 : Tabella di analisi costi per impianto con operatori in parallelo

STAZIONE 1)

RICEVIMENTO

Il tempo ciclo del sistema è $T_c = 26 \text{ s} = 0.433 \text{ min}$

Il costo di completamento in linea è :

$$L_1 = \frac{C_{op} * M_j}{60} = 16 * 0,33 / 60 = 0.09 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$I_1 = \sum_{e \in (S_j + J)} I e' = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 + I_7 + I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12}$$
$$= 3,2 \text{ €/pz}$$

Per ogni attività è stato assegnato un tempo medio ricavato dalle rilevazioni nelle tabelle delle pagine precedenti; dal tempo medio e dalle singole rilevazioni delle attività si determina la deviazione standard σ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (t_i - T_{medio})^2}{N-1}} = 0.69$$

$$F(z_1^*) = 1 - \frac{L_1}{I_1} = 0.972222$$

Una volta ricavata la probabilità si utilizza la tabella standardizzata su distribuzione normale sottostante e si trova z_j^* :

$$z_1^* = 1.93$$

Ora si può calcolare la z dell'attività :

$$z_1 = (N^{\circ} \text{operatori} * Tc - Mj) / (\sigma j^2) = \frac{3 * 0.4333 - 0.33}{0.69^2} = 1.4$$

Probabilità di mancato completamento: $P_1 = 8.08 \%$

Calcolato z_1 si confronta con z_1^* e si vede che:

$$z_1 < z_1^*$$

cioè

$$1.4 < 1.93$$

Quindi l'attività è critica. Si procede il procedimento per tutte le stazioni.

STAZIONE 2)

MONDATURA

Il costo di completamento in linea è :

$$L_2 = \frac{Cop * Mj}{60} = 16 * 0,34 / 60 = 0.09 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$I_2 = \sum_{e \in (Sj+J)} Ie' = I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 + I_7 + I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12}$$

$$= 3 \text{ €/pz}$$

$$\sigma = 0.46$$

$$F(z_2^*) = 1 - \frac{L_2}{I_2} = 0.96963$$

Dai valori della tabella standardizzata su distribuzione normale trovo $z_2^* = 1.88$

$$Z_2 = (3 * Tc - Mj) / (\sigma j^2) = 2.1$$

Probabilità di mancato completamento: $P_2 = 1.79 \%$

Calcolato z_2 si confronta con z_2^* e si vede che:

$$z_2 > z_2^*$$

cioè

$$2.1 > 1.88$$

Quindi l'attività è desiderabile ma non sicura.

STAZIONE 3)

SALATURA

Il costo di completamento in linea è :

$$L_3 = \frac{Cop * Mj}{60} = 16 * 0,26 / 60 = 0.07 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$I_3 = \sum_{e \in (Sj+J)} Ie' = I_3 + I_4 + I_5 + I_6 + I_7 + I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12}$$

$$= 2.7 \text{ €/pz}$$

$$\sigma = 0.41$$

$$F(z_3^*) = 1 - \frac{L_3}{I_3} = 0.97465$$

Dai valori della tabella standardizzata su distribuzione normale trovo $z_3^* = 1.96$

$$Z_3 = (3 * Tc - Mj) / (\sigma j^2) = 2.52$$

Probabilità di mancato completamento: $P_3 = 0.59 \%$

Calcolato z_3 si confronta con z_3^* e si vede che:

$$z_3 > z_3^*$$

cioè

$$2.52 > 1.96$$

Quindi l'attività è desiderabile ma non sicura.

STAZIONE 4)

CARICO

Il costo di completamento in linea è :

$$L_4 = \frac{Cop * Mj}{60} = 16 * 0,41 / 60 = 0.11 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$I_4 = \sum_{e \in (Sj+J)} Ie' = I_4 + I_5 + I_6 + I_7 + I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12}$$

$$= 2.6 \text{ €/pz}$$

$$\sigma = 1.09$$

$$F(z_4^*) = 1 - \frac{L_4}{I_4} = 0.958205$$

Dai valori della tabella standardizzata su distribuzione normale trovo $z_4^* = 1.74$

$$Z_4 = (3 * Tc - Mj) / (\sigma j^2) = 0.82$$

Probabilità di mancato completamento: $P_4 = 20.61 \%$

Calcolato z_4 si confronta con z_4^* e si vede che:

$$z_4 < z_4^*$$

cioè

$$0.82 < 1.74$$

Quindi l'attività è critica.

STAZIONE 5)

SCARICO

Il costo di completamento in linea è :

$$L_5 = \frac{C_{op} * Mj}{60} = 16 * 0,42 / 60 = 0.11 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$I_5 = \sum_{e \in (S_j + J)} I e' = I_5 + I_6 + I_7 + I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12}$$

$$= 2.3 \text{ €/pz}$$

$$\sigma = 1.02$$

$$F(z_5^*) = 1 - \frac{L_4}{I_4} = 0.951691$$

Dai valori della tabella standardizzata su distribuzione normale trovo $z_5^* = 1.67$

$$Z_5 = (3 * Tc - Mj) / (\sigma j^2) = 0.86$$

Probabilità di mancato completamento: $P_5 = 19.49 \%$

Calcolato z_5 si confronta con z_5^* e si vede che:

$$z_5 < z_5^*$$

cioè

$$0.86 < 1.67$$

Quindi l'attività è critica.

STAZIONE 6)

SALATURA

Il costo di completamento in linea è :

$$L_6 = \frac{C_{op} * Mj}{60} = 16 * 0,26 / 60 = 0.07 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$I_6 = \sum_{e \in (Sj+J)} Ie' = I_6 + I_7 + I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12}$$

$$= 2 \text{ €/pz}$$

$$\sigma = 0.41$$

$$F(z_6^*) = 1 - \frac{L_4}{I_4} = 0.965556$$

Dai valori della tabella standardizzata su distribuzione normale trovo $z_6^* = 1.82$

$$Z_6 = (3 * Tc - Mj) / (\sigma j^2) = 2.52$$

Probabilità di mancato completamento: $P_6 = 0.59 \%$

Calcolato z_6 si confronta con z_6^* e si vede che:

$$z_6 > z_6^*$$

cioè

$$2.52 > 1.82$$

Quindi l'attività è desiderabile ma non sicura.

STAZIONE 7)

CARICO

Il costo di completamento in linea è :

$$L_7 = \frac{C_{op} * M_j}{60} = 16 * 0,41 / 60 = 0.11 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$I_7 = \sum_{e \in (S_j + J)} I e' = I_7 + I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12}$$

$$= 1.90 \text{ €/pz}$$

$$\sigma = 1.09$$

$$F(z_7^*) = 1 - \frac{L_7}{I_7} = 0.94269$$

Dai valori della tabella standardizzata su distribuzione normale trovo $z_7^* = 1.58$

$$Z_7 = (3 * Tc - M_j) / (\sigma j^2) = 0.82$$

Probabilità di mancato completamento: $P_7 = 20.61 \%$

Calcolato z_7 si confronta con z_7^* e si vede che:

$$z_7 < z_7^*$$

cioè

$$0.82 < 1.58$$

Quindi l'attività è critica.

STAZIONE 8)

SCARICO

Il costo di completamento in linea è :

$$L_8 = \frac{COP * Mj}{60} = 16 * 0,42 / 60 = 0.11 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$I_8 = \sum_{e \in (Sj+J)} Ie' = I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12}$$
$$= 1.60 \text{ €/pz}$$

$$\sigma = 1.02$$

$$F(z_8^*) = 1 - \frac{L_8}{I_8} = 0.930556$$

Dai valori della tabella standardizzata su distribuzione normale trovo $z_8^* = 1.49$

$$Z_8 = (3 * Tc - Mj) / (\sigma j^2) = 0.86$$

Probabilità di mancato completamento: $P_8 = 19.49 \%$

Calcolato z_8 si confronta con z_8^* e si vede che:

$$z_8 < z_8^*$$

cioè

$$0.86 < 1.49$$

Quindi l'attività è critica.

STAZIONE 9)

CABINA DI TOELETTATURA

Il costo di completamento in linea è :

$$L_9 = \frac{Cop * Mj}{60} = 16 * 0.11 / 60 = 0.03 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$I_9 = \sum_{e \in (sj+j)} Ie' = I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12}$$

$$= 1.3 \text{ €/pz}$$

$$\sigma = 0.5$$

$$F(z_9^*) = 1 - \frac{L_9}{I_9} = 0.9777778$$

Dai valori della tabella standardizzata su distribuzione normale trovo $z_9^* = 2.01$

$$Z_9 = (Tc - Mj) / (\sigma j^2) = 0.654$$

Probabilità di mancato completamento: $P_9 = 25.78 \%$

Calcolato z_9 si confronta con z_9^* e si vede che:

$$z_9 < z_9^*$$

cioè

$$0.654 < 2.01$$

Quindi l'attività è critica.

STAZIONE 10)

TOELETTATURA

Il costo di completamento in linea è :

$$L_{10} = \frac{Cop * Mj}{60} = 16 * 0.32 / 60 = 0.09 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$I_{10} = \sum_{e \in (S_j + J)} I e' = I_{10} + I_{11} + I_{12}$$
$$= 0.9 \text{ €/pz}$$

$$\sigma = 0.92$$

$$F(z_{10}^*) = 1 - \frac{L_{10}}{I_{10}} = 0.904198$$

Dai valori della tabella standardizzata su distribuzione normale trovo $z_{10}^* = 1.31$

$$Z_{10} = (3 * Tc - Mj) / (\sigma j^2) = 1.06$$

Probabilità di mancato completamento: $P_{10} = 14.46 \%$

Calcolato z_{10} si confronta con z_{10}^* e si vede che:

$$z_{10} < z_{10}^*$$

cioè

$$1.06 < 1.31$$

Quindi l'attività è critica.

STAZIONE 11)

LEGATRICE

Il costo di completamento in linea è :

$$L_{11} = \frac{C_{op} * Mj}{60} = 16 * 0.09 / 60 = 0.02 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$I_{11} = \sum_{e \in (S_j + J)} I e' = I_{11} + I_{12}$$
$$= 0.6 \text{ €/pz}$$

$$\sigma = 0.46$$

$$F(z_{11}^*) = 1 - \frac{L_{11}}{I_{11}} = 0.959259$$

Dai valori della tabella standardizzata su distribuzione normale trovo $z_{11}^* = 1.75$

$$Z_{11} = (Tc - Mj) / (\sigma j^2) = 0.735$$

Probabilità di mancato completamento: $P_{11} = 22.96 \%$

Calcolato z_{11} si confronta con z_{11}^* e si vede che:

$$z_{11} < z_{11}^*$$

cioè

$$0.735 < 1.75$$

Quindi l'attività è critica.

STAZIONE 12)

APPENDIMENTO

Il costo di completamento in linea è :

$$L_{12} = \frac{Cop * Mj}{60} = 16 * 0.06 / 60 = 0.02 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$I_{12} = \sum_{e \in (Sj+J)} Ie' = I_{12}$$

$$= 0.3 \text{ €/pz}$$

$$\sigma = 0.12$$

$$F(z_{12}^*) = 1 - \frac{L_{12}}{I_{12}} = 0.94963$$

Dai valori della tabella standardizzata su distribuzione normale trovo $z_{12}^* = 1.64$

$$Z_{12} = (Tc - Mj) / (\sigma_j^2) = 3.243$$

Probabilità di mancato completamento: $P_{12} = 0 \%$

Calcolato z_{12} si confronta con z_{12}^* e si vede che:

$$z_{12} > z_{12}^*$$

cioè

$$3.243 > 1.64$$

Quindi l'attività è sicura: $z_{12} > 2.575$

COSTI TOTALI :

$$C_{TOT} = C_{TOT MDO} + C_{TOT MANC.COMPL} = \frac{N^{\circ}operatori * Cop}{q} + \sum_j P_j * I_j$$

$$= \frac{30 * 16}{433} + 2.63 = 1.11 + 2.63$$

$$= 3.74 \text{ €/pz}$$

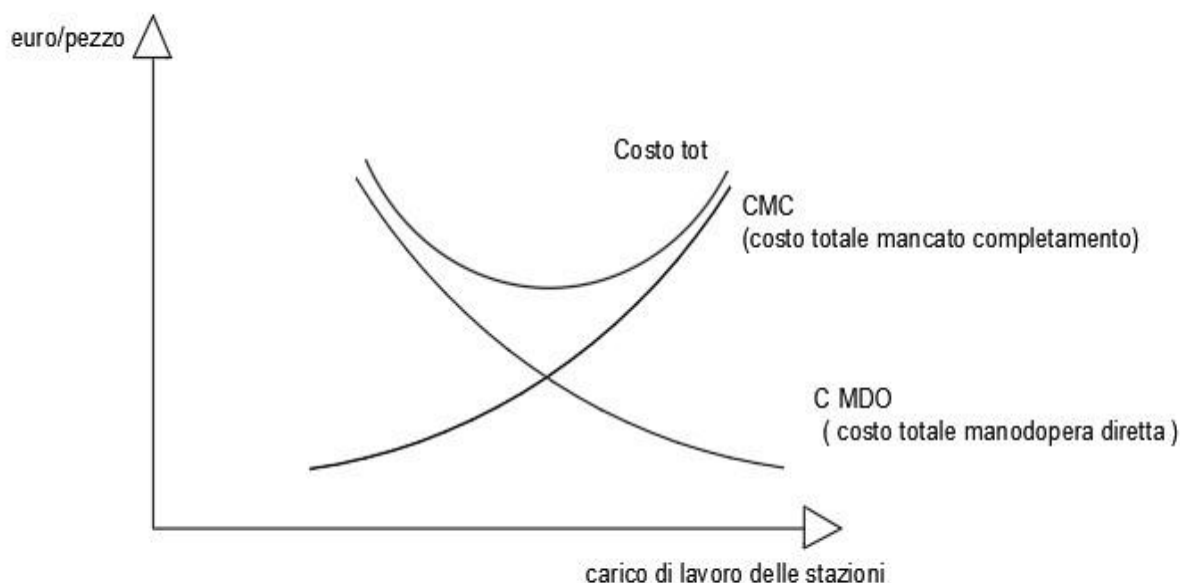


Figura 28 : Grafico analisi costi

4.4 Impianto con robot

4.4.1 Il robot

Passiamo ora alla terza soluzione sviluppata durante il tirocinio presso l'azienda. Questa è la più innovativa ed è in linea con il concetto di industria 4.0 nella quale gli operatori collaborano con macchine e robot per aumentare le prestazioni dell'impianto. L'ipotesi avanzata è stata realizzata sia con un software 2D (AUTOCAD) per uno studio di fattibilità che, dopo una prima approvazione del cliente, con un CAD di modellazione 3D (INVENTOR). La soluzione propone un'alternativa alla manodopera e permette di alzare il rendimento, aumentare la produttività e ridurre gli scarti. Si è scelto di andare ad ottimizzare le stazioni di carico e scarico che erano le più critiche secondo le analisi fatte e che richiedevano uno sforzo fisico notevole dell'operatore il quale nell'arco del turno lavorativo diminuiva in modo inevitabile il proprio rendimento ed era esposto a rischi per la salute a causa della movimentazione di carichi abbastanza importanti. Prima di disegnare la linea e prima di introdurre il prototipo di robot pensato si cerca di dimensionarlo in funzione delle esigenze.

Il robot pensato dev'essere una macchina con i gradi di libertà necessari per poter gestire autonomamente le fasi di carico e scarico nel tempo più rapido possibile. Essenziale nel dimensionamento del robot sono la scelta dei motori, cioè dimensionare ed assegnare un motore per ogni movimento che il robot deve fare. L'importanza di dotare il robot di un motore per ogni grado di libertà permette di rendere i suoi spostamenti indipendenti. Ovviamente in questo caso, essendo il robot un prototipo, dovrò stimare i tempi in maniera differenti rispetto ai casi precedenti. Col dimensionamento dei motoriduttori ovvero in base alla scelta della potenza, del numero di giri e della coppia da assegnare si fornisce al robot delle caratteristiche di velocità, di carichi che può movimentare ecc. Il tempo di carico/scarico dei prosciutti con il robot essendo il robot un prototipo non è possibile rilevarlo da videoregistrazioni o prenderlo da database di prodotti analoghi. E' necessario fare una stima sulla base del dimensionamento del robot e del suo spazio di lavoro. Innanzitutto si parte col determinare l'attività preposta al robot : il robot, indipendentemente che ci si trovi nel primo o secondo sale ha il compito di prelevare un piano di prosciutti dai nastri trasportatori e riporlo sui telai; successivamente dovrà prendere il piano dai telai e riporlo sui nastri. Scomponendo le attività in movimenti elementari otteniamo :

1) Attività di carico dal nastro trasportatore:

- a) Raggiungere in orizzontale il nastro
- b) Abbassarsi per raggiungere la quota dei prosciutti
- c) Inserire la pinza rastrello sul nastro rulliera sotto i prosciutti
- d) Alzarsi in verticale coi prosciutti
- e) Uscire in orizzontale dagli ingombri del nastro
- f) Salire in verticale fino alla quota del piano del telaio
- g) Ruotare fino all'angolo a cui corrisponde la posizione del telaio
- h) Raggiungere il telaio in orizzontale
- i) Abbassarsi per rilasciare i prosciutti sul telaio
- j) Tornare indietro uscendo dall'ingombro dei telai

2) Attività di scarico dal telaio:

- a) Raggiungere in orizzontale il telaio
- b) Abbassarsi per entrare nel telaio sotto i prosciutti con la pinza rastrello
- c) Alzarsi per staccare i prosciutti dal telaio
- d) Uscire dal telaio
- e) Ruotare fino all'angolo del nastro di scarico

- f) Scendere fino alla quota del nastro
- g) Uscire col carrello fino a essere sopra il nastro
- h) Scendere ulteriormente col carrello per depositare i prosciutti
- i) Uscire in orizzontale dall'ingombro del nastro

Il robot quindi dovrà avere 3 gradi di libertà:

- 1) Rotazione della colonna
- 2) Traslazione verticale del carrello su cui sono montate le spade
- 3) Traslazione orizzontale del carrello montato sulle spade sul quale è montata la pinza

Il prototipo di robot che è stato sviluppato nello studio di fattibilità sarà costituito da un corpo principale che è una colonna portante fissata sia a terra che al soffitto la quale potrà solamente ruotare su se stessa. Su questa colonna sono montate due spade che possono muoversi in verticale rispetto alla colonna e che permettono di raggiungere la quota necessaria per il carico e lo scarico. Queste spade saranno più corte dell'ingombro massimo in modo da non causare interferenze durante i movimenti del robot. Per poter raggiungere i piani dei prosciutti sulle spade scorre un carrello con attaccata una pinza: durante i movimenti dal nastro trasportatore ai telai il carrello sarà tirato dentro lungo la spada più vicino possibile alla colonna e verrà fatto uscire fino in fondo alla spada al momento del prelievo e dello scarico. La pinza è semplicemente l'utensile finale che permette al robot di prelevare i prosciutti: è stato pensato a forma di rastrello con i denti dimensionati con un passo opportuno in modo che riesca a inserirsi nel nastro rulliera e che riesca a depositare anche sul telaio.

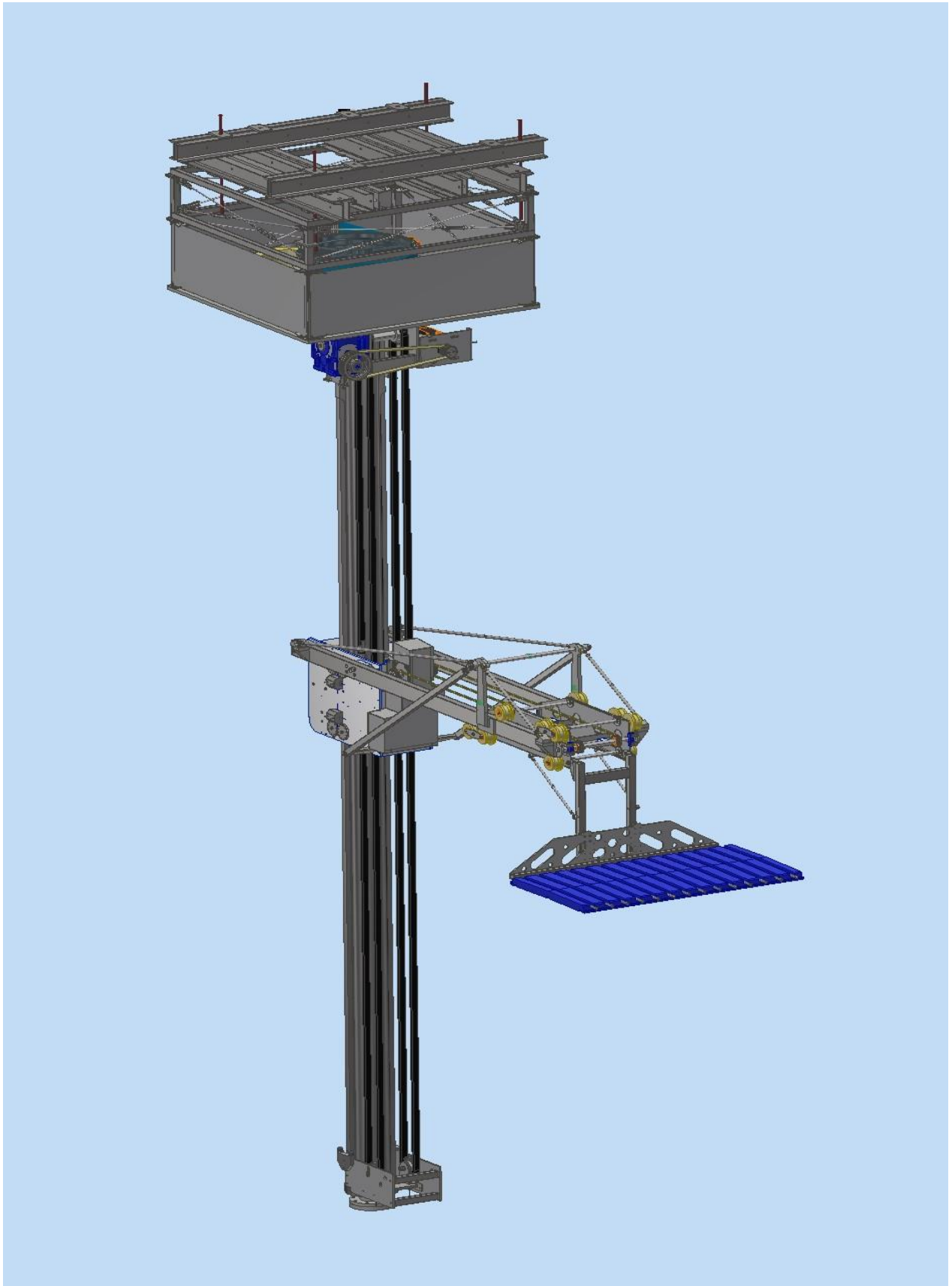


Figura 29 : Disegno 3D del prototipo di robot

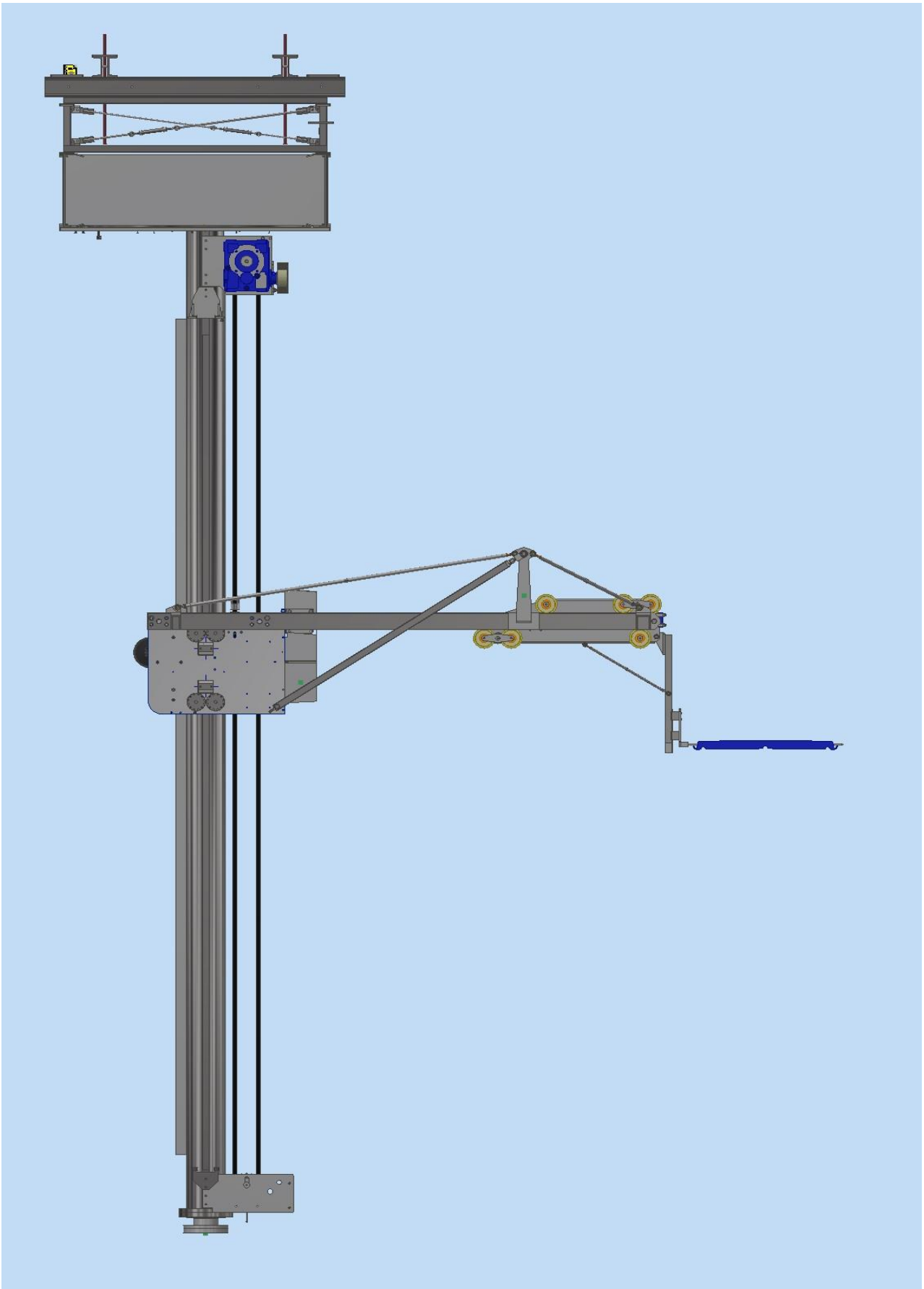


Figura 30 : Disegno 3D del prototipo di robot, vista laterale

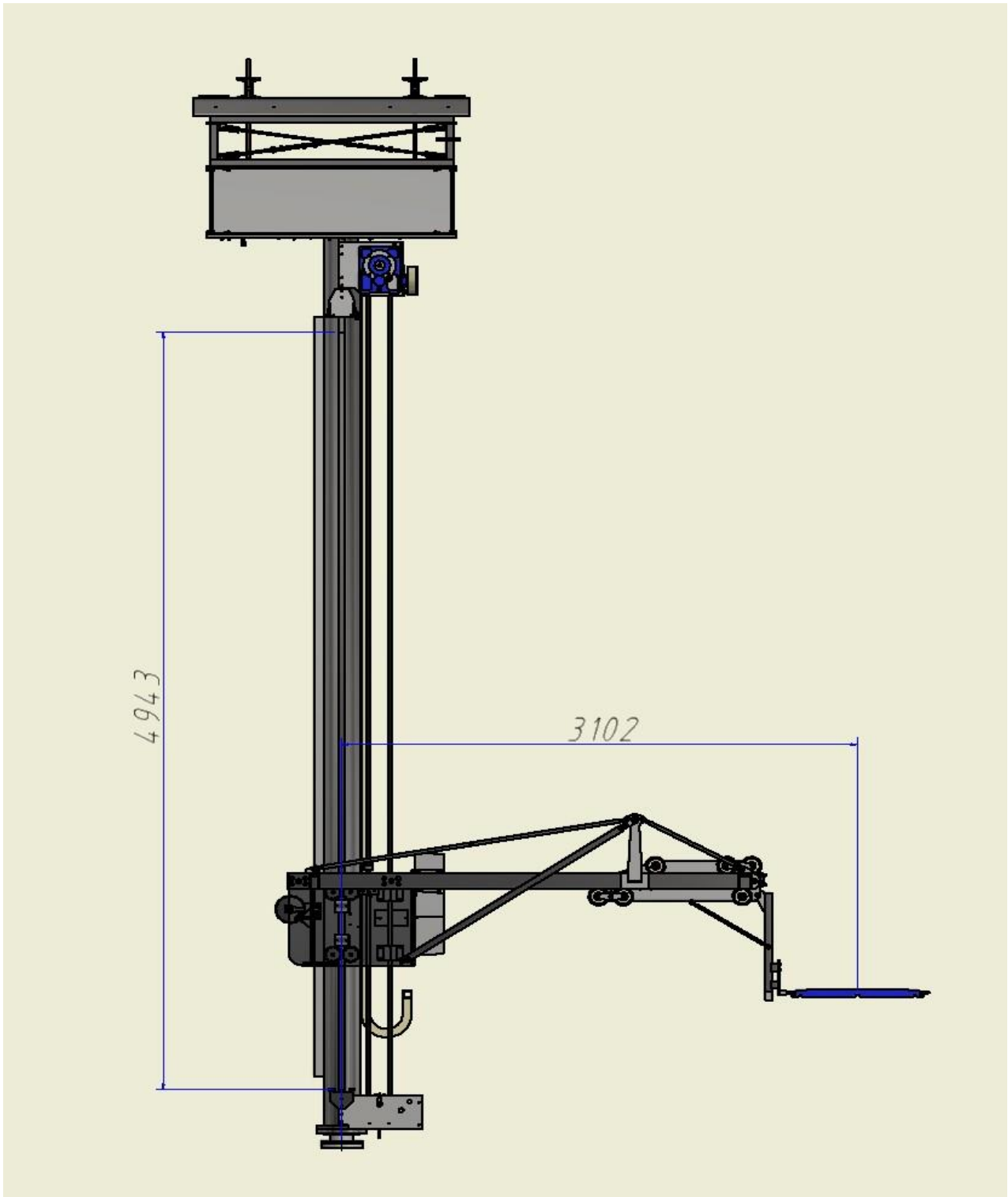


Figura 31 : Quote delle corse verticali e orizzontali del robot

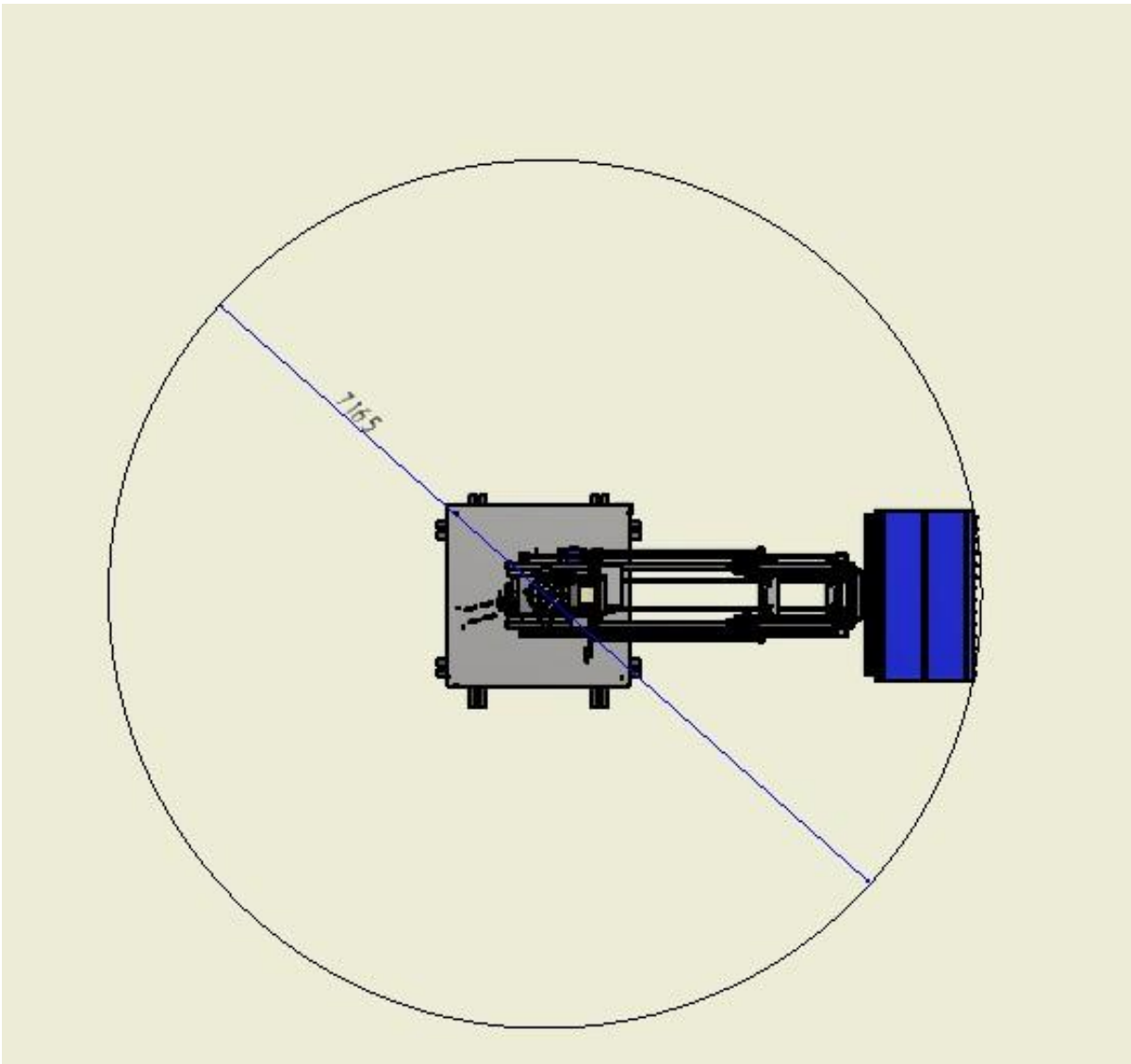


Figura 32 : Quota di ingombro massimo del robot durante la rotazione

Le figure mostrano il prototipo del robot realizzato con il software INVENTOR. Tale progettazione porta diversi vantaggi tra i quali poter esporre con maggiore chiarezza il progetto al cliente, poter stimare i costi, i pesi e gli ingombri del sistema. I movimenti che dovrà fare il robot quindi consistono in uno di rotazione e due di traslazione; essi sono gestiti in maniera indipendente tra di loro da dei motori elettrici, un motore per movimento. Il dimensionamento dei motori è necessario per poter stimare il tempo ciclo delle stazioni robotizzate. Nei disegni delle pagine precedenti son state fatte delle viste del robot per poter ricavare delle quote necessarie per il dimensionamento. Le quote che son state annotate sono quelle della rotazione e quindi dell'ingombro massimo mentre ruota, quelle della corsa massima del carrello della traslazione verticale e quelle del carrello della traslazione orizzontale. La fase preliminare per dimensionare un robot è quella di capire le

prestazioni che ci può fornire e quindi ci consente così di fare una scrematura iniziale delle situazioni in cui può/conviene che venga utilizzato o meno.

Fare tali tipi di valutazioni in fase embrionale è fortemente consigliato perché va a incidere poco sui costi, via via invece che il progetto prende forma i costi accessori si alzano e una rinuncia diventa sempre più onerosa col passare del tempo (ore di progettazione; tecnici impiegati ecc..). Il primo passo per dimensionare un robot finalizzato all'incremento della produzione consiste nel dimensionare i motoriduttori di cui è composto per garantire alla macchina determinate prestazioni . Il dimensionamento di un motoriduttore elettrico è complesso e oltre al numero di giri in uscita dal riduttore e alla coppia dovrà considerare altri molti aspetti tra i quali i carichi radiali, la gestione software e plc del motore, il funzionamento tramite inverter, gli Hz a regime, la temperatura di funzionamento, l'albero in uscita dal riduttore ecc, tutti aspetti che verranno però valutati a progetto iniziato non durante lo studio di fattibilità. Nello studio preliminare i due fattori fondamentali che vanno calcolati sono il numero di giri in uscita al riduttore (giri/min) e la coppia in uscita al riduttore (Nm). Partiamo dalla rotazione:

Rotazione : Il robot quando preleva dal nastro trasportatore deve uscire dall'ingombro del nastro, alzarsi e compiere una rotazione per raggiungere il telaio a cui è destinato il piano dei prosciutti in funzione della classe di peso. Si cerca di dimensionare il robot in modo che il suo tempo ciclo sia 4s di cui 1,5s per la rotazione e 2,5 per le fasi di carico o scarico. L'angolo di rotazione non è sempre lo stesso poiché i telai sono posti sia da una parte che dall'altra del robot. Un grosso vantaggio potrebbe derivare dal fatto di permettere al robot di ruotare sia in senso orario che in senso antiorario dimezzando così il campo di azione. Nel caso peggiore quindi il robot dovrà fare una corsa in rotazione di π radianti in 1,5 s. La coppia invece che il motoriduttore dovrà avere dipende dal peso del robot quindi dalla sua inerzia , dal peso dei prosciutti e dal braccio delle spade e del carrello con la pinza rastrello che contribuiscono anch'essi all'inerzia totale durante la rotazione.

Il peso del robot dai dati di INVENTOR, scegliendo come materiale per la struttura acciaio inox, è Peso = 500 Kg; il robot pesa in totale 2000 Kg ma solo 500 Kg si muovono durante la rotazione, gli altri comprendono i fissaggi e la sovra e sottostruttura per tenerlo ancorato.

Peso prosciutti = 16 Kg/ prosciutto

N° prosciutti = 8 prosciutti per piano

Inerzia totale parti in rotazione : la prendo da Inventor dalla tabella proprietà

I totale robot in rotazione = 1262 Kgm²

I prosciutto = Inerzia propria + massa prosciutto * (distanza baricentro prosciutto dall'asse di rotazione)²

Coordinata baricentro prosciutti (da figura sopra) = 3102 mm

L'Inerzia propria del prosciutto è trascurabile, molto piccola rispetto al momento di inerzia trasposto dovuto alla distanza del baricentro del prosciutto dall'asse di rotazione:

Inerzia singolo prosciutto = $m * r^2$ (Kgm²)

Inerzia singolo prosciutto = $16 * 3.102^2 = 153$ Kgm²

Inerzia totale piano di prosciutti = $8 * I$ singolo prosciutto = $8 * 153 = 1231$ Kgm²

Inerzia totale sistema in rotazione = In. totale piano di prosciutti + In. totale robot in rotazione =
= 1231 + 1262 = 2493 Kgm²

Impongo quindi 1.5 s per la rotazione di 180°. Quindi abbiamo 3 s per una rotazione di 360°: $w = 1/3 = 0.333$ giri/s, $w_{max} = 0,66$ giri/s cioè 40 giri/min. Avrò quindi un'accelerazione max : $w' = w_{max} / (0,5 * t_{180}) = 0,88$ giri/s² = 5,52 rad/s². Ho utilizzato come si vede dal grafico un profilo di velocità triangolare con tempo di accelerazione $T_a = T_{dec}$ tempo di decelerazione.

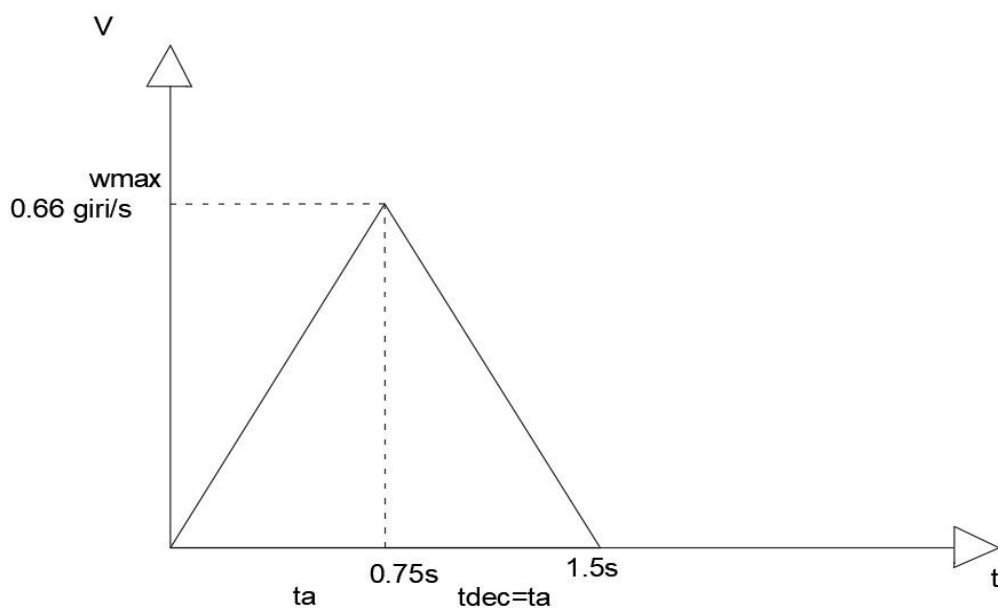


Figura 33 : Profilo triangolare della velocità in funzione del tempo per la rotazione.

La coppia in uscita dal riduttore diventa quindi:

$$M = I \cdot \alpha = 2493 \cdot 5,52 = 13765 \text{ Nm}$$

La potenza del motore sarà quindi di :

$$P = M \cdot \omega = 13765 \cdot 0,88 = 12113 \text{ W} = 12,113 \text{ Kw}$$

Il motore che serve è molto grosso quindi si consiglia l'utilizzo di pulegge con un numero di denti diversi in modo da entrare nel riduttore con un rapporto di riduzione necessario ad abbassare sensibilmente la taglia del motore: ad esempio se utilizziamo una puleggia da 16 denti in uscita dal riduttore e un'altra puleggia da 50 denti collegata ad essa e con la quale ruota la colonna del robot avrò un rapporto di trasmissione di $50/16 = 3,125$ che andrà a diminuire la coppia in ingresso al riduttore di $M = 13765 / 3,125 = 4405 \text{ Nm}$ di circa un terzo.

Traslazione verticale = Il robot ha un carrello che può scorrere in verticale lungo la colonna e anch'esso sarà gestito da un motoriduttore che trasmette il moto a due pulegge con delle cinghie di trasmissione. Questo motoriduttore serve per consentire al robot di arrivare alla quota necessaria per il prelievo e lo scarico. Per calcolare la coppia è necessario conoscere il peso di tutta la struttura che si muove (500 Kg) meno il peso della colonna che ruota e basta:

$$\text{Peso colonna} = 80 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Peso tot salita/discesa robot} &= \text{Peso totale parti in movimento} - \text{Peso colonna} \\ &= 500 - 80 = 420 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Da sommare a questo peso c'è il peso dei prosciutti :

$$\begin{aligned} \text{Peso totale prosciutti} &= N^\circ \text{ prosciutti} \times \text{Peso prosciutto} \\ &= 8 \times 16 = 128 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Quindi il peso totale sarà di :

$$P_{\text{tot}} = \text{Peso tot salita/discesa robot} + \text{Peso totale prosciutti}$$

$$= 420 + 128 = 548 \text{ Kg}$$

Il numero di giri/min dovrà essere quello che ci permette di compiere la corsa massima in circa $3,5 \text{ s} / 2 = 1,75 \text{ s}$

Scegliendo un profilo di velocità trapezoidale e un tempo di accelerazione di default $T_a = 0,2 \text{ s}$ abbiamo che :

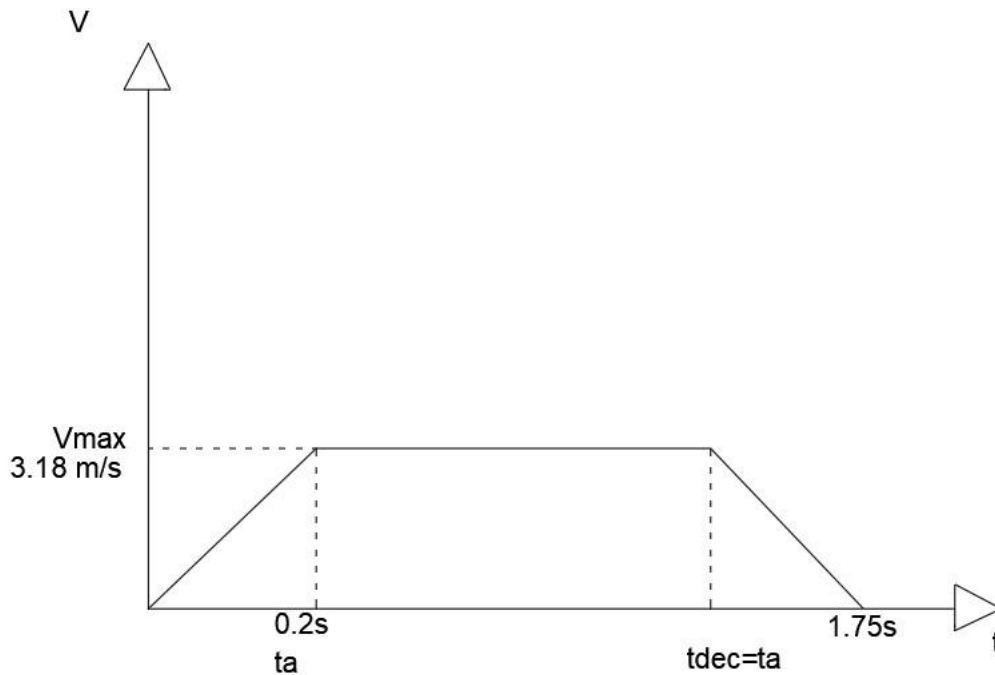


Figura 34 : Profilo trapezoidale della velocità in funzione del tempo per la traslazione verticale.

T accelerazione da 0 a V_{max} , $T_a = 0,2 \text{ s}$

T decelerazione da V_{max} a 0 , $T_d = 0,2 \text{ s}$

$$T_{tot} = 1,75 \text{ s}$$

La corsa massima si ricava dalle figure delle pagine precedenti ed è :

$$S_{max} = 4943 \text{ mm}$$

Quindi tempo a velocità costante $T_v = 1,75 - 2 * 0,2 = 1,35 \text{ s}$

Spazio percorso in accelerazione = spazio percorso in decelerazione :

$$S = \frac{1 \cdot a \cdot t^2}{2}$$

$$S = \frac{2 \cdot 1 \cdot a \cdot t a^2}{2} + v_{max} \cdot t \text{ vel cost} =$$

$$= \frac{2 \cdot 1 \cdot v \cdot t a^2}{2 \cdot t a} + v_{max} \cdot t \text{ vel cost} =$$

$$4.943 = \frac{2 \cdot 1 \cdot v \cdot 0.2^2}{2 \cdot 0.2} + v_{max} \cdot 1.35 =$$

$$V_{max} = \frac{4.943 \cdot 2 \cdot 0.2}{0.62} = 3,183.19 \text{ m/s}$$

Quindi la velocità sarà di 191,3 m/min. Scegliendo una puleggia opportuna, ovvero sufficientemente grande da poter ridurre al massimo la velocità in uscita dal riduttore per non ricorrere a motori troppo potenti avrò :

$$\text{Velocità (giri/ min)} = \frac{\text{Velocità } \left(\frac{\text{m}}{\text{min}} \right)}{\text{Diametro primitivo} \cdot \pi}$$

Il diametro primitivo della puleggia lo ricavo dalla tabella sottostante estratta dal catalogo di un fornitore. Scegliamo una puleggia con passo 12,7 mm e con numero di denti $z=50$. Il diametro primitivo è di 202,13 mm. La velocità in uscita al riduttore sarà quindi di :

$$\text{Velocità (giri/ min)} = \frac{\text{Velocità } \left(\frac{\text{m}}{\text{min}} \right)}{\text{Diametro primitivo} \cdot \pi}$$

$$= \frac{191,3 \left(\frac{\text{m}}{\text{min}} \right)}{202,13 \cdot \pi}$$

$$= 301 \text{ giri/min}$$

Ora l'altro dato necessario al dimensionamento preliminare del motore è la coppia. Il motore della traslazione verticale del robot, nonostante le spade producano un elevato momento sull'asse, deve solo sopportare il peso delle parti in movimento verticale perché il momento dovuto allo sbraccio delle spade è assorbito dalle ruote del carrello che tengono in guida il carrello alla colonna. Quindi possiamo calcolare il momento (Nm) come:

Peso totale componenti in traslazione verticale = 420 Kg

Diametro primitivo puleggia = 202,13 mm

Pulegge Dentate Passo Pollici Imperial Pitch Timing Pulleys

H

Passo 12,7mm / 1/2" Pitch



Materiale: Acciaio Material: Steel

	Codice Code	Disegno Drawing	N° Denti Teeth	Dp	De	Df	Dm	B	L
H per cinghia di larghezza 0,75" - 19,05 mm H for 0,75" - 19,05 mm width belt	14 H 075 F	6F	14	56,60	55,23	64,0	40	26	40
	15 H 075 F	6F	15	60,64	59,27	66,5	45	26	40
	16 H 075 F	6F	16	64,68	63,31	70,0	45	26	40
	17 H 075 F	6F	17	68,72	67,35	75,0	45	26	40
	18 H 075 F	6F	18	72,77	71,40	79,0	55	26	40
	19 H 075 F	6F	19	76,81	75,44	82,5	60	26	40
	20 H 075 F	6F	20	80,85	79,48	87,0	62	26	40
	21 H 075 F	6F	21	84,89	83,52	91,0	65	26	40
	22 H 075 F	6F	22	88,94	87,57	94,0	68	26	40
	23 H 075 F	6F	23	92,98	91,61	97,0	72	26	40
	24 H 075 F	6F	24	97,02	95,65	102,0	72	26	40
	25 H 075 F	6F	25	101,06	99,69	106,0	72	26	40
	26 H 075 F	6F	26	105,11	103,74	112,0	80	26	40
	27 H 075 F	6F	27	109,15	107,78	115,0	80	26	40
	28 H 075 F	6F	28	113,19	111,82	120,0	80	26	40
	29 H 075 F	6F	29	117,23	115,86	120,0	80	26	40
	30 H 075 F	6F	30	121,28	119,91	128,0	80	26	40
	32 H 075 F	6F	32	129,36	127,99	135,0	80	26	40
	33 H 075 F	6F	33	133,40	132,03	142,0	80	26	40
	34 H 075 F	6F	34	137,45	136,08	142,0	80	26	40
35 H 075 F	6F	35	141,49	140,12	150,0	80	26	40	
36 H 075 F	6F	36	145,53	144,16	150,0	80	26	40	
38 H 075 F	6F	38	153,62	152,25	158,0	80	26	40	
40 H 075 F	6F	40	161,70	160,33	168,0	80	26	40	
44 H 075 F	6WF	44	177,87	176,50	184,0	80	26	40	
45 H 075 F	6WF	45	181,91	180,54	192,0	80	26	40	
48 H 075 F	6WF	48	194,04	192,67	200,0	90	26	45	
50 H 075	6W	50	202,13	200,76	-	90	26	45	
H per cinghia da 25,4 mm H for 25,4 mm width belt	14 H 100 F	6F	14	56,60	55,23	64,0	40	32	45
	15 H 100 F	6F	15	60,64	59,27	66,5	45	32	45
	16 H 100 F	6F	16	64,68	63,31	70,0	45	32	45
	17 H 100 F	6F	17	68,72	67,35	75,0	45	32	45
	18 H 100 F	6F	18	72,77	71,40	79,0	55	32	45
	19 H 100 F	6F	19	76,81	75,44	82,5	60	32	45
	20 H 100 F	6F	20	80,85	79,48	87,0	62	32	45
	21 H 100 F	6F	21	84,89	83,52	91,0	65	32	45
22 H 100 F	6F	22	88,94	87,57	94,0	68	32	45	

Figura 35 Catalogo delle caratteristiche delle pulegge di trasmissione

$$\begin{aligned} \text{Coppia in uscita al riduttore} &= \frac{m \cdot g \cdot Dp}{2} \\ &= 420 \cdot 9,81 \cdot 0,101065 \\ &= 416 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Abbiamo così dimensionato il motoriduttore e troviamo che ci servirà un motore con una potenza P:

$$P = M \times w$$

In funzione del numero di poli scelto (tipicamente 2,4 o 6) avrò una coppia del motore a regime. A esso andrà associato un riduttore con un opportuno rapporto di riduzione per poter uscire dal riduttore ovvero dall'albero veloce del motoriduttore con una coppia necessaria per garantire di sollevare i pesi delle componenti del robot.

Traslazione carrello della pinza rastrello = Questo motoriduttore deve consentire al robot di arrivare sopra i nastri per depositare e di estrarsi dagli ingombri durante i moti di traslazione e rotazione necessari per raggiungere le posizioni di attività. Il movimento di ingresso e uscita va compiuto nel minor tempo possibile ma dovrebbe essere uno spostamento minimo giusto per entrare sul nastro e per togliersi dall'ingombro. Si pensa di utilizzare un motore piccolo che consenta uno spostamento di circa 250 mm in meno di un secondo. Il momento che deve supportare è molto contenuto rispetto ai due motori precedenti in quanto dovrà alzare solamente il piano di prosciutti che è di circa 128 Kg e il peso della pinza rastrello. Utilizzando un diametro della puleggia dalle tabelle sopra :

$$Dp = 56,60 \text{ mm} \qquad M = \frac{128 \cdot 9,81 \cdot 0,0566}{2} = 35,5 \text{ Nm}$$

Avendo analizzato nello specifico i tre movimenti del robot possiamo ora dare un dato approssimato ma verosimile come ordine di grandezza del tempo ciclo:

- a) Rotazione 1,5 s
- b) Traslazione verticale 1,75 s corsa massima; quindi nel caso peggiore cioè quello di prelievo dal piano del telaio più alto.
- c) Traslazione orizzontale 1 s circa

Sommando i tempi dei tre movimenti abbiamo 4,25s ma per un primo studio di fattibilità possiamo prendere 4 s. Ciò è giustificato dal fatto che il tempo potrebbe essere minore siccome abbiamo preso 1,75s per la corsa massima quindi gli altri spostamenti verticali dovrebbero richiedere meno tempo. In realtà però queste velocità saranno da analizzare più nel dettaglio durante la fase di progettazione vera e propria perché vanno tenuti in considerazione altri aspetti quali la forza centrifuga in rotazione e la forza di attrito dei prosciutti sul piano; ovvero se la forza di attrito è maggiore della forza centrifuga i prosciutti resteranno sul piano durante la rotazione altrimenti se fosse maggiore la forza centrifuga rischierebbero di cadere.

4.4.2 Dimensionamento dell'impianto e rilevamento tempi

Dopo aver studiato la fattibilità del robot da inserire nell'impianto e dopo aver stilato delle linee guida inerenti ai movimenti e ai tempi che dovrà compiere si può passare al dimensionamento dell'impianto.

LAYOUT COMPLETO:

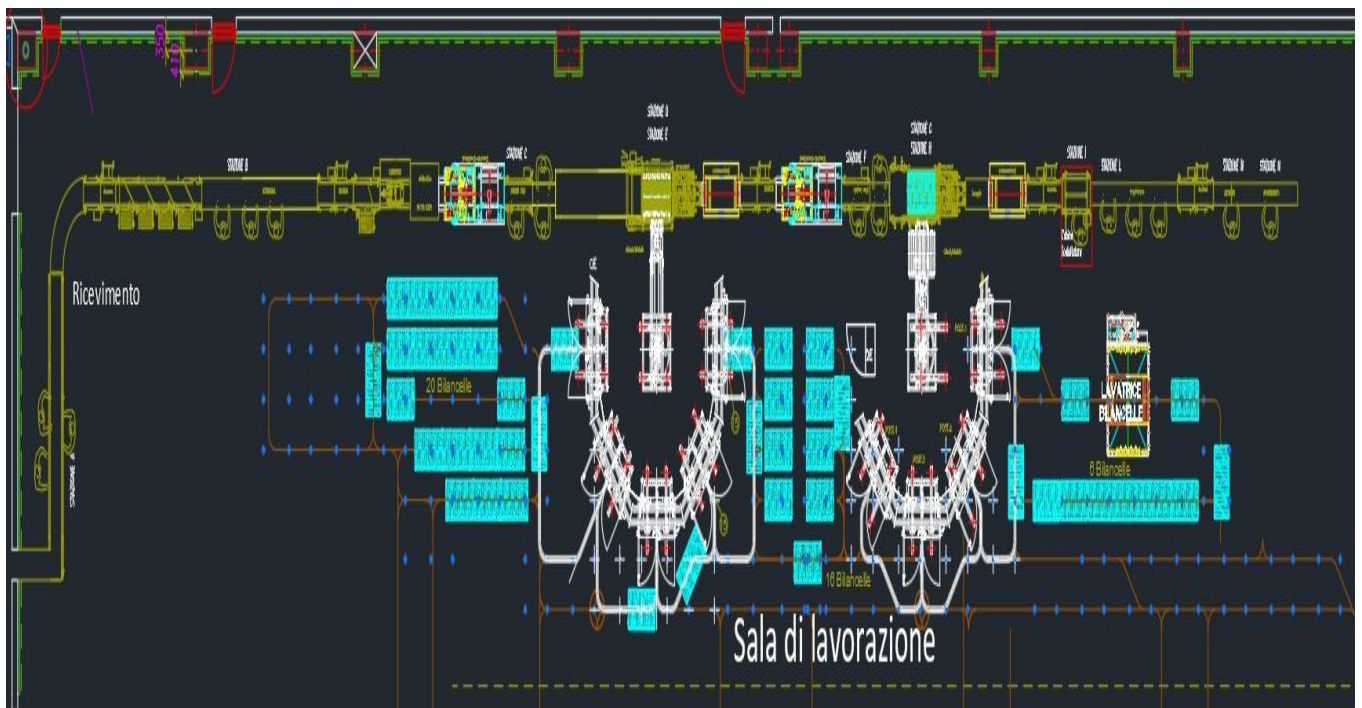


Figura 36 : Layout completo dell'impianto con i robot nelle stazioni di carico/scarico

Stazioni A+B+C : La prima parte resta invariata

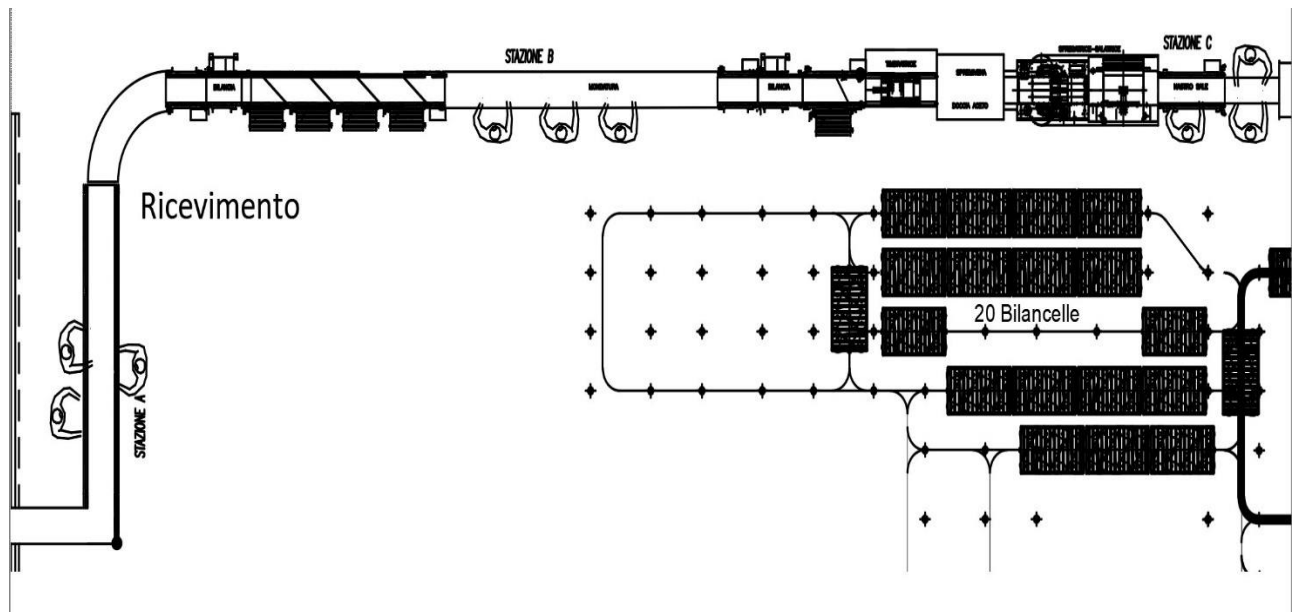


Figura 37 : Layout parziale dell'impianto stazioni A+B+C

Stazioni D+E

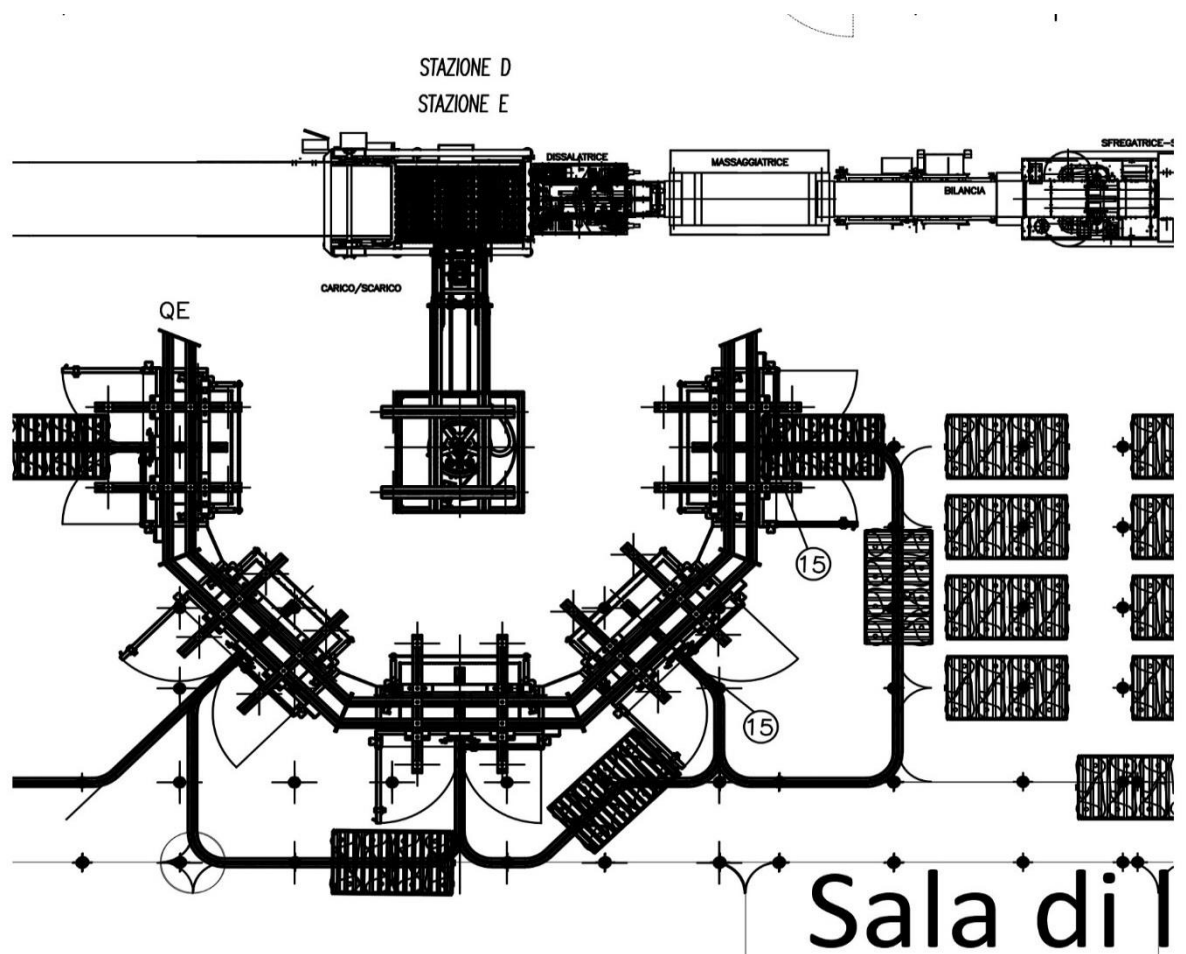


Figura 38 : Layout parziale dell'impianto stazioni D+E

Come si vede dal layout parziale la zona di carico e la zona di scarico è diversa dai layout precedenti. Nelle stazioni con gli operatori era necessario avere i piani di carico e scarico uno dopo l'altro in modo che siano alla stessa altezza e che questa altezza sia sufficiente per permettere all'operatore di compiere dei movimenti agevoli in conformità con le normative vigenti sulla sicurezza sul lavoro e sulla corretta ergonomia nella produzione nelle fasi di prelievo e scarico del prosciutto. In questa soluzione sono state sovrapposte le stazioni di carico e scarico su più piani come in figura:

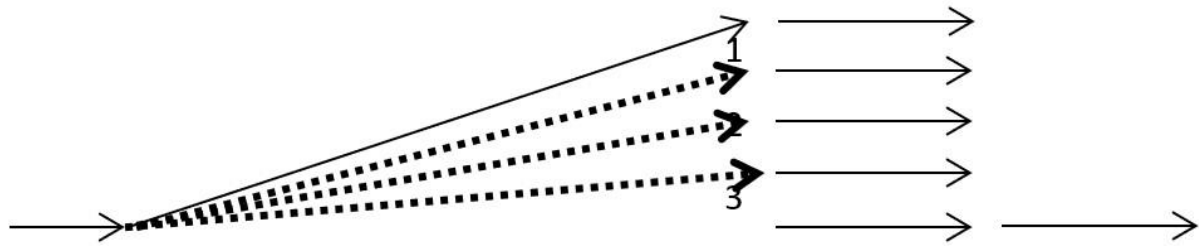


Figura 39 : Schematizzazione del nastro a monte dei piani di carico/scarico e dei piani di carico/scarico impilati.

Il nastro di trasporto a monte della zona di carico può inclinarsi in modo da depositare il prosciutto su uno dei piani in base alla classe di peso. Quando un piano sarà pieno, ovvero quando sarà composto da 8 prosciutti, il robot preleva gli 8 prosciutti e li deposita sulle bilancelle, pronti per essere portati in cella di riposo. Il piano orizzontale invece è quello su cui il robot scarica i prosciutti prelevandoli dalle bilancelle i quali riprenderanno il ciclo produttivo nel secondo sale.

Stazioni F+G+H

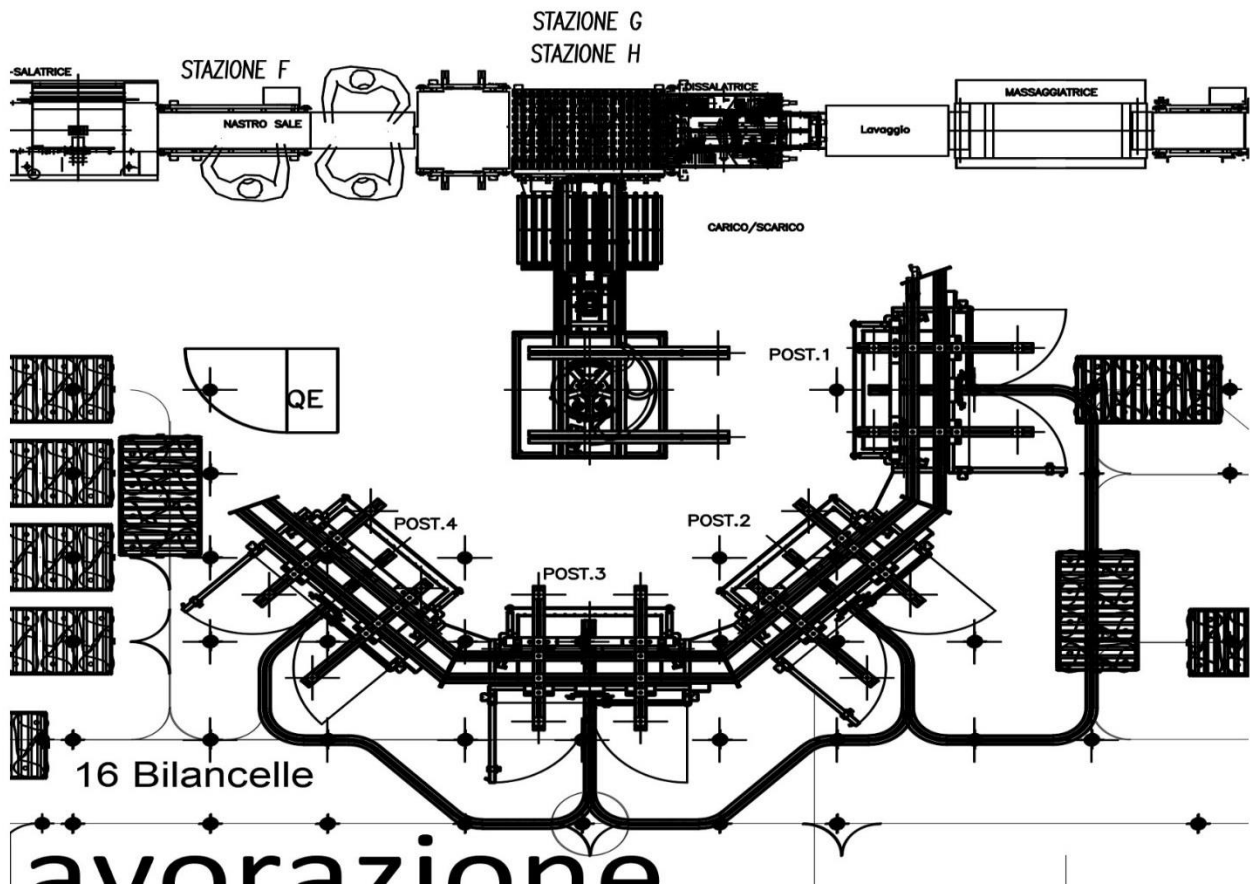


Figura 40 : Layout parziale dell'impianto stazioni F+G+H

Stazioni I+L+M+N

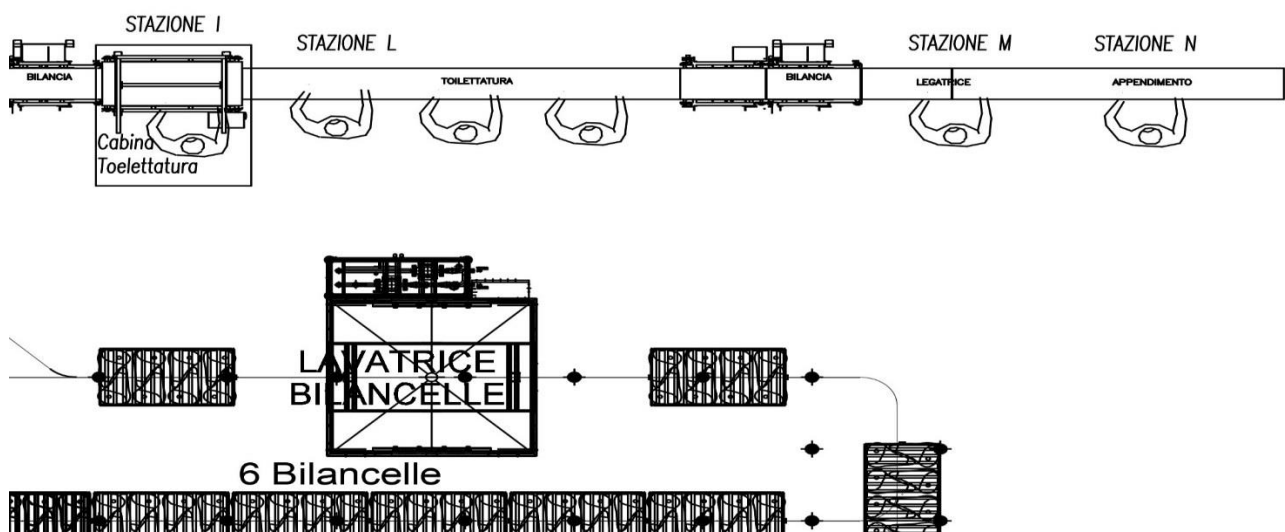


Figura 41 : Layout parziale dell'impianto stazioni I+L+M+N

Dal layout precedente con le stazioni costituite da un operatore singolo si è ottenuto un tempo ciclo alto e una produttività insufficiente per impianti che lavorano su larga scala. Si è scelto ora di potenziare l'impianto con tre stazioni in parallelo nelle zone con le attività più critiche.

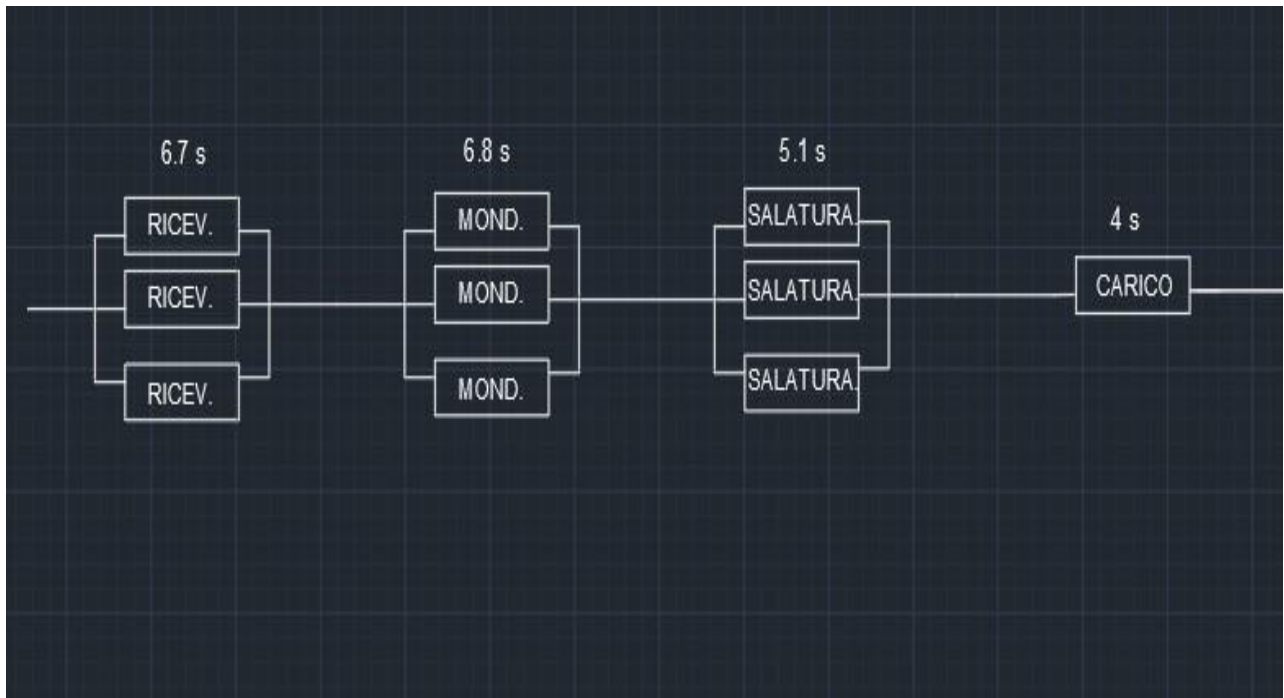


Figura 42 : Bilanciamento stazioni A+B+C+D con operatori in parallelo e robot

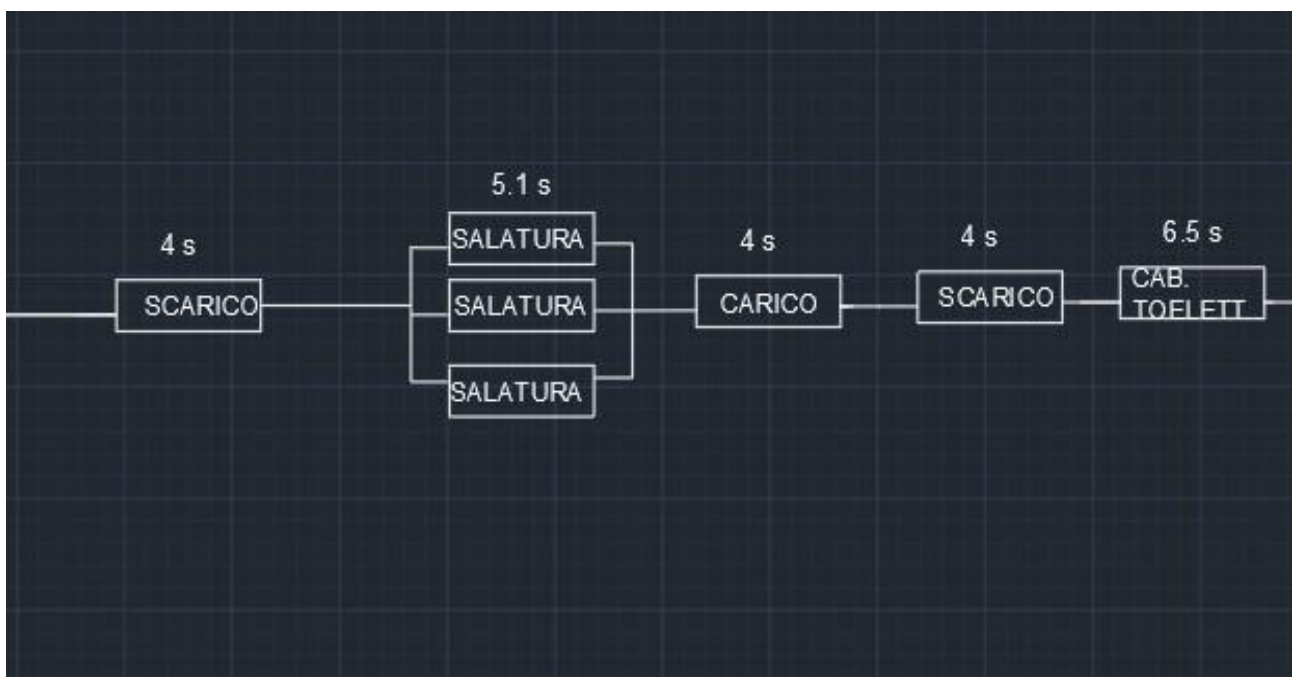


Figura 43 : Bilanciamento stazioni E+F+G+H+I con operatori in parallelo e robot



Figura 44 : Bilanciamento stazioni L+M+N con operatori in parallelo

ATTIVITA' A) → RICEVIMENTO

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	20,62
2	19,03
3	19,95
4	20,33
5	21,01
6	18,97
7	19,87
8	20,26
9	20,67
10	19,5
TEMPO MEDIO (s)	20,021

N°OPERATORI 3
 STAZIONE A
RICEVIMENTO

TEMPO MEDIO (s) 6,674

Tabella 28 : Rilevazione tempi attività di ricevimento con operatori in parallelo e robot

ATTIVITA' B) → MONDATURA

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	20,03
2	20,45
3	20,68
4	21,04
5	21,01
6	19,99
7	20,66
8	20,36
9	19,71
10	20,87
TEMPO MEDIO (s)	20,48

N°OPERATORI 3
 STAZIONE B
MONDATURA

TEMPO MEDIO (s) 6,82666667

Tabella 29 : Rilevazione tempi attività di mondatura con operatori in parallelo e robot

ATTIVITA' C) → SALATURA

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	15,28
2	15,79
3	15,02
4	14,85
5	15,3
6	16
7	15,37
8	15,46
9	14,9
10	15,95
TEMPO MEDIO (s)	15,392

N°OPERATORI 3

STAZIONE C

SALATURA

TEMPO MEDIO	
(s)	5,13066667

Tabella 30 : Rilevazione tempi attività di salatura con operatori in parallelo e robot

ATTIVITA' D) → CARICO PROSCIUTTI PER PRIMO SALE

TEMPO MEDIO (s)	4
-----------------	---

Tabella 31 :Stima tempi robot

ATTIVITA' E) → SCARICO PROSCIUTTI PE PRIMO SALE

TEMPO MEDIO (s) 4

Tabella 32 : : Stima tempi robot

ATTIVITA' F) → SALATURA

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	15,28
2	15,79
3	15,02
4	14,85
5	15,3
6	16
7	15,37
8	15,46
9	14,9
10	15,95
TEMPO MEDIO (s)	15,392

N°OPERATORI 3

STAZIONE F

SALATURA

TEMPO MEDIO (s) 5,13066667

Tabella 33 : Rilevazione tempi attività di salatura con operatori in parallelo e robot

ATTIVITA' G) → CARICO PROSCIUTTI PER SECONDO SALE

TEMPO MEDIO (s)	4
-----------------	---

Tabella 34 : Stima tempi robot

ATTIVITA' H) →

SCARICO PROSCIUTTI PER APPENDIMENTO

TEMPO MEDIO (s)	4
-----------------	---

Tabella 35 : Stima tempi robot

ATTIVITA' I) → CABINA DI TOELETTATURA

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	7,11
2	6,8
3	7,2
4	6,2
5	6,87
6	5,98
7	6,23
8	6,06
9	5,8
10	6,32
TEMPO MEDIO (s)	6,457

STAZIONE I
CABINA DI
TOELETTATURA

TEMPO MEDIO (s) 6,457

Tabella 36 : Rilevazione tempi cabina di toelettatura con operatori in parallelo e robot

ATTIVITA' L) → TOELETTATURA

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	18,28
2	18,37
3	19,6
4	19,27
5	20,22
6	20,4
7	20,89
8	18,25
9	19,57
10	19,2
TEMPO MEDIO (s)	19,405

N°OPERATORI 3

STAZIONE L
TOELETTATURA

TEMPO MEDIO (s) 6,46833333

Tabella 37 : Rilevazione tempi attività di toelettatura con operatori in parallelo e robot

ATTIVITA' M) → LEGATRICE

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	5,56
2	5,89
3	5,42
4	5,03
5	4,78
6	4,98
7	5,72
8	6,32
9	5,21
10	5,36
TEMPO MEDIO (s)	5,427

STAZIONE M

LEGATRICE

TEMPO MEDIO (s)	5,427
------------------------	--------------

Tabella 38 : Rilevazione tempi attività di legatura con operatori in parallelo e robot

ATTIVITA' N) → APPENDIMENTO

N° RILEVAZIONE	TEMPO(s)
1	3,26
2	3,2
3	3,18
4	3,4
5	3,36
6	3,1
7	3,17
8	3,03
9	3,15
10	3,31
TEMPO MEDIO (s)	3,216

STAZIONE N

APPENDIMENTO

TEMPO MEDIO (s)	3,216
-----------------	-------

Tabella 39 : Rilevazione tempi attività di appendimento con operatori in parallelo e robot

La nuova configurazione con i due robot per il carico e scarico sia nel primo sale che nel secondo sale riduce sensibilmente il numero di operatori e abbatta il tempo ciclo. Il tempo ciclo diventa 4 s che è la metà del tempo ciclo della stazione con tre operatori. La produttività del sistema diventa quindi :

$$Q_{\max} = \frac{3600}{T_c} = \frac{3600}{6.8} = 530 \text{ Pz/h}$$

La produttività è aumentata considerevolmente. Va tenuto presente che tale produttività non è la produttività massima che garantisce l'impianto col robot: il collo di bottiglia infatti in questo caso diventa l'attività di mondatura che impiega 6,8s quindi il tempo ciclo T_c è condizionato da tale attività. Se noi volessimo considerare la massima produttività del robot dovremo aumentare la produttività delle stazioni con operatori manuali fintanto che il collo di bottiglia diventi l'attività del robot cioè fintanto che tutte le attività manuali vadano sotto i 4s. La produttività diventerà quindi:

$$Q_{\max} = \frac{3600}{T_c} = \frac{3600}{4} = 900 \text{ Pz/h}$$

Nella trattazione son stati utilizzati massimo tre operatori per stazione per poter fare un confronto con le stazioni studiate in precedenza. Tale soluzione automatizzata inoltre permette una riduzione degli ingombri facendo risparmiare così circa 4550 mm di lunghezza dei nastri trasportatori.

4.4.3 Analisi costi

ATTIVITA'	Mj (min)	dev.standard	Ij (€/att)	Lj (€/att)	Ij (€/att)2	F(z*j)	z*j	zj	Pj	N°operatori
RICEVIMENTO	0,33	0,69	0,2	0,09	2,00	0,955556	1,71	1,40	0,0808	3
MONDATURA	0,34	0,46	0,3	0,09	1,80	0,949383	1,64	2,10	0,0179	3
SALATURA	0,26	0,41	0,1	0,07	1,50	0,95437	1,74	2,52	0,0059	3
CARICO	0,41	1,09	0	1,00	0,00				0	ROBOT
SCARICO	0,42	1,02	0	1,00	0,00				0	ROBOT
SALATURA	0,26	0,41	0,1	0,07	1,40	0,950794	1,65	2,52	0,0059	3
CARICO	0,41	1,09	0	1,00	0,00				0	ROBOT
SCARICO	0,42	1,02	0	1,00	0,00				0	ROBOT
CABINA DI TOELETATURA	0,11	0,50	0,4	0,03	1,30	0,977778	2,01	0,65	0,2578	1
TOELETATURA	0,32	0,92	0,3	0,09	0,90	0,904198	1,34	1,06	0,1446	3
LEGATRICE	0,09	0,46	0,3	0,02	0,60	0,959259	1,75	0,74	0,2296	1
APPENDIMENTO	0,06	0,12	0,3	0,02	0,30	0,94963	1,64	3,24	0	1

Tabella 40 : Tabella analisi costi per impianto con operatori in parallelo e robot

STAZIONE 1)

RICEVIMENTO

Il tempo ciclo del sistema è $T_c = 26 \text{ s} = 0.433 \text{ min}$

Il costo di completamento in linea è :

$$L_1 = \frac{C_{op} * M_j}{60} = 16 * 0,33 / 60 = 0.09 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$I_1 = \sum_{e \in (S_j + J)} I e' = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 + I_7 + I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12}$$

$$= 2 \text{ €/pz}$$

Per ogni attività è stato assegnato un tempo medio ricavato dalle rilevazioni nelle tabelle delle pagine precedenti; dal tempo medio e dalle singole rilevazioni delle attività si determina la deviazione standard σ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (t_i - T_{medio})^2}{N-1}} = 0.69$$

$$F(z_1^*) = 1 - \frac{L_1}{I_1} = 0.95556$$

$$P = 1 - F(z_1^*) = 0.04444$$

Una volta ricavata la probabilità si utilizza la tabella standardizzata su distribuzione normale sottostante e si trova z_j^* :

$$z_1^* = 1.71$$

Ora si può calcolare la z dell'attività :

$$z_1 = (N^{\circ} \text{operatori} * Tc - Mj) / (\sigma_j^2) = \frac{3 * 0.4333 - 0.33}{0.69^2} = 1.4$$

Probabilità di mancato completamento: $P_1 = 8.08\%$

Calcolato z_1 si confronta con z_1^* e si vede che:

$$z_1 < z_1^*$$

cioè

$$1.4 < 1.71$$

Quindi l'attività è critica. Si procede il procedimento per tutte le stazioni.

STAZIONE 2)

MONDATURA

Il costo di completamento in linea è :

$$L_2 = \frac{Cop * Mj}{60} = 16 * 0,34 / 60 = 0.09 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$I_2 = \sum_{e \in (s_j + j)} I e' = I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 + I_7 + I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12}$$

$$= 1.8 \text{ €/pz}$$

$$\sigma = 0.46$$

$$F(z_2^*) = 1 - \frac{L_2}{I_2} = 0.95437$$

Dai valori della tabella standardizzata su distribuzione normale trovo $z_2^* = 1.64$

$$Z_2 = (3 * Tc - Mj) / (\sigma j^2) = 2.1$$

Probabilità di mancato completamento: $P_2 = 1.79 \%$

Calcolato z_2 si confronta con z_2^* e si vede che:

$$z_2 > z_2^*$$

cioè

$$2.1 > 1.64$$

Quindi l'attività è desiderabile ma non sicura.

STAZIONE 3)

SALATURA

Il costo di completamento in linea è :

$$L_3 = \frac{Cop * Mj}{60} = 16 * 0,26 / 60 = 0.07 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$I_3 = \sum_{e \in (Sj+J)} Ie' = I_3+I_4+I_5+I_6+I_7+I_8+I_9+I_{10}+I_{11}+I_{12}$$

$$= 1.5 \text{ €/pz}$$

$$\sigma = 0.41$$

$$F(z_3^*) = 1 - \frac{L_3}{I_3} = 0.95437$$

Dai valori della tabella standardizzata su distribuzione normale trovo $z_3^* = 1.74$

$$Z_3 = (3 * Tc - Mj) / (\sigma j^2) = 2.52$$

Probabilità di mancato completamento: $P_3 = 0.59 \%$

Calcolato z_3 si confronta con z_3^* e si vede che:

$$z_3 > z_3^*$$

cioè

$$2.52 > 1.74$$

Quindi l'attività è desiderabile ma non sicura.

STAZIONE 4)

CARICO

Il costo di completamento in linea è :

$$L_4 = \frac{C_{op} * Mj}{60} = 16 * 0,41 / 60 = 0.11 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è 0 perché il robot verrà impostato e dimensionato in modo che svolga un'attività sicura. La probabilità di mancato completamento sarà quindi 0 %.

$$I_4 = \sum_{e \in (Sj+J)} Ie' = 0$$

STAZIONE 5)

SCARICO

Il costo di completamento in linea è :

$$L_4 = \frac{Cop * Mj}{60} = 16 * 0,41 / 60 = 0.11 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è 0 perché il robot verrà impostato e dimensionato in modo che svolga un'attività sicura.

$$I_4 = \sum_{e \in (Sj+J)} Ie' = 0$$

STAZIONE 6)

SALATURA

Il costo di completamento in linea è :

$$L_6 = \frac{Cop * Mj}{60} = 16 * 0,26 / 60 = 0.07 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$I_6 = \sum_{e \in (Sj+J)} Ie' = I_6 + I_7 + I_8 + I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12}$$

$$= 1.4 \text{ €/pz}$$

$$\sigma = 0.41$$

$$F(z_6^*) = 1 - \frac{L_4}{I_4} = 0.965556$$

Dai valori della tabella standardizzata su distribuzione normale trovo $z_6^* = 1.65$

$$Z_6 = (3 * Tc - Mj) / (\sigma j^2) = 2.52$$

Probabilità di mancato completamento: $P_6 = 0.59 \%$

Calcolato z_6 si confronta con z_6^* e si vede che:

$$z_6 > z_6^*$$

cioè

$$2.52 > 1.65$$

Quindi l'attività è desiderabile ma non sicura.

STAZIONE 7)

CARICO

Il costo di completamento in linea è :

$$L_4 = \frac{Cop * Mj}{60} = 16 * 0,41 / 60 = 0.11 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è 0 perché il robot verrà impostato e dimensionato in modo che svolga un'attività sicura.

$$I_4 = \sum_{e \in (Sj+J)} Ie' = 0$$

STAZIONE 8)

SCARICO

Il costo di completamento in linea è :

$$L_4 = \frac{Cop * Mj}{60} = 16 * 0,41 / 60 = 0.11 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è 0 perché il robot verrà impostato e dimensionato in modo che svolga un'attività sicura.

$$I_4 = \sum_{e \in (Sj+J)} Ie' = 0$$

STAZIONE 9)

CABINA DI TOELETTATURA

Il costo di completamento in linea è :

$$L_9 = \frac{C_{op} * M_j}{60} = 16 * 0.11 / 60 = 0.03 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$I_9 = \sum_{E(S_j+J)} I e' = I_9 + I_{10} + I_{11} + I_{12}$$

$$= 1.3 \text{ €/pz}$$

$$\sigma = 0.5$$

$$F(z_9^*) = 1 - \frac{L_9}{I_9} = 0.977778$$

Dai valori della tabella standardizzata su distribuzione normale trovo $z_9^* = 2.01$

$$Z_9 = (Tc - M_j) / (\sigma j^2) = 0.654$$

Probabilità di mancato completamento: $P_9 = 25.78 \%$

Calcolato z_9 si confronta con z_9^* e si vede che:

$$z_9 < z_9^*$$

cioè

$$0.654 < 2.01$$

Quindi l'attività è critica.

STAZIONE 10)

TOELETTATURA

Il costo di completamento in linea è :

$$L_{10} = \frac{Cop * Mj}{60} = 16 * 0.32 / 60 = 0.09 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$I_{10} = \sum_{e \in (Sj+J)} Ie' = I_{10} + I_{11} + I_{12}$$

$$= 0.9 \text{ €/pz}$$

$$\sigma = 0.92$$

$$F(z_{10}^*) = 1 - \frac{L_{10}}{I_{10}} = 0.904198$$

Dai valori della tabella standardizzata su distribuzione normale trovo $z_{10}^* = 1.31$

$$Z_{10} = (3 * Tc - Mj) / (\sigma j^2) = 1.06$$

Probabilità di mancato completamento: $P_{10} = 14.46 \%$

Calcolato z_{10} si confronta con z_{10}^* e si vede che:

$$z_{10} < z_{10}^*$$

cioè

$$1.06 < 1.31$$

Quindi l'attività è critica.

STAZIONE 11)

LEGATRICE

Il costo di completamento in linea è :

$$L_{11} = \frac{Cop * Mj}{60} = 16 * 0.09 / 60 = 0.02 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$\begin{aligned}
I_{11} &= \sum_{e \in (Sj+J)} Ie' = I_{11} + I_{12} \\
&= 0.6 \text{ €/pz} \\
\sigma &= 0.46
\end{aligned}$$

$$F(z_{11}^*) = 1 - \frac{L_{11}}{I_{11}} = 0.959259$$

Dai valori della tabella standardizzata su distribuzione normale trovo $z_{11}^* = 1.75$

$$Z_{11} = (Tc - Mj) / (\sigma j^2) = 0.735$$

Probabilità di mancato completamento: $P_{11} = 22.96 \%$

Calcolato z_{11} si confronta con z_{11}^* e si vede che:

$$z_{11} < z_{11}^*$$

cioè

$$0.735 < 1.75$$

Quindi l'attività è critica.

STAZIONE 12)

APPENDIMENTO

Il costo di completamento in linea è :

$$L_{12} = \frac{COP * Mj}{60} = 16 * 0.06 / 60 = 0.02 \text{ €/ attività}$$

Il costo di completamento fuori linea totale dell'attività è:

$$\begin{aligned}
I_{12} &= \sum_{e \in (Sj+J)} Ie' = I_{12} \\
&= 0.3 \text{ €/pz} \\
\sigma &= 0.12
\end{aligned}$$

$$F(z_{12}^*) = 1 - \frac{L_{12}}{I_{12}} = 0.94963$$

Dai valori della tabella standardizzata su distribuzione normale trovo $z_{12}^* = 1.64$

$$Z_{12} = (Tc - Mj) / (\sigma_j^2) = 3.243$$

Probabilità di mancato completamento: $P_{12} = 0 \%$

Calcolato z_{12} si confronta con z_{12}^* e si vede che:

$$z_{12} > z_{12}^*$$

cioè

$$3.243 > 1.64$$

Quindi l'attività è sicura: $z_{12} > 2.575$

Si possono calcolare adesso i costi totali dell'impianto con il robot:

$$\begin{aligned} C_{TOT} &= C_{TOT MDO} + C_{TOT MANC.COMPL} = \\ &= \frac{N^{\circ}operatori * Cop}{Q} + \sum_j P_j * I_j \\ &= \frac{18 * 16}{530} + 0.81 = 0.54 + 0.81 \\ &= 1.35 \text{ €/pz} \end{aligned}$$

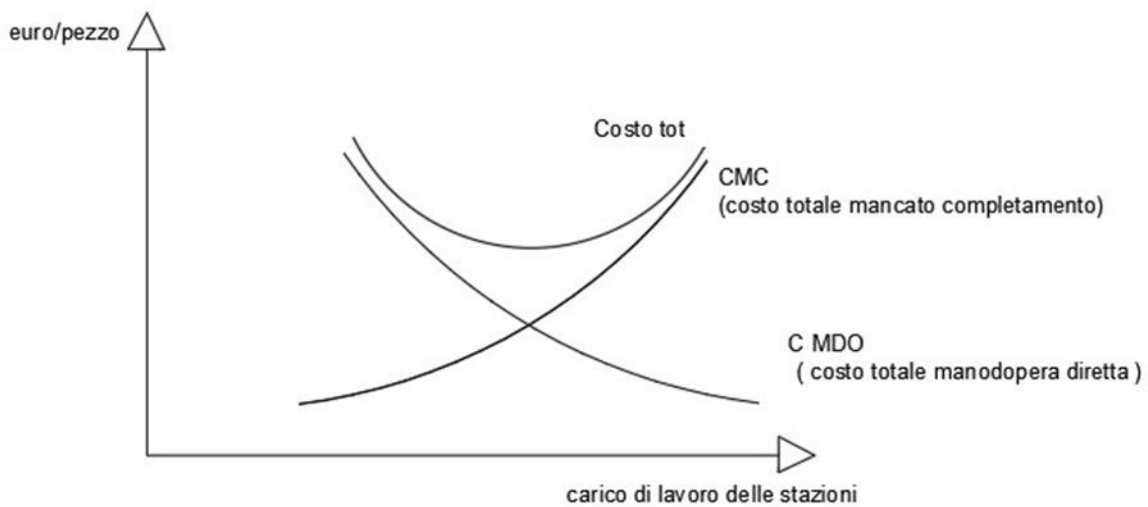


Figura 45 : Grafico analisi costi

4.5 Confronto tra gli impianti

Per fare l'analisi sono stati utilizzati tre operatori per certe stazioni e un operatore in altre. Questo numero è stato scelto in modo da permettere il confronto con l'impianto con gli operatori in parallelo: facendo così abbiamo lo stesso numero di operatori nelle stazioni non automatizzate e riesce più immediato il confronto tra i due diversi tipi di impianti. La differenza di costi dell'impianto con i due robot rispetto ai due impianti tradizionali è evidente: si ha una riduzione di spese del 64 % rispetto a un impianto già migliorato e potenziato cioè con più operatori che lavorano in parallelo e addirittura dell' 87 % rispetto a un impianto con un operatore per stazione.

Tale configurazione non è ottimizzata poiché il robot, come visto nel dimensionamento motori in precedenza, è stato progettato per avere un tempo ciclo T_c minimo di 4s ma l'impianto lavora a un T_c di 6,8s poiché il collo di bottiglia sono le stazioni con operatori manuali, in particolare in questo caso il collo di bottiglia è la stazione dedicata ad attività di mondatura. Per ottimizzare l'impianto andrà aumentato il numero di operatori nelle stazioni più critiche portando il collo di bottiglia nelle stazioni del robot e quindi diminuendo il T_c dell'impianto a 4s ottenendo una produttività

$$Q = 900 \text{ pz/h.}$$

Tale soluzione porta un grosso vantaggio economico soprattutto per impianti che lavorano su larga scala con una grossa mole di prodotto. Visti i risparmi in esercizio con tale soluzione il costo iniziale del robot viene ammortizzato velocemente. Si pensi di lavorare con la produttività stimata sopra, $Q = 530$ pz/h con due turni di 8 h al giorno per cinque giorni:

$$Q = 530 * 8 * 2 * 5 = 42400 \text{ pz/settimana}$$

Quindi in un anno la produttività sarà dell'ordine di:

$$Q_{\text{pz/anno}} = 42400 * 4 * 12 = 2'035'200 \text{ pz/anno}$$

Il costo al pezzo come detto è di 1.35 €/pz quindi una stima della spesa annuale per fare la produzione sarà di circa:

$$C_{\text{tot}} = Q_{\text{annuale}} * \text{costo al pezzo} = 2035200 * 1.35 = 2'747'520 \text{ €}$$

L'impianto tradizionale invece con il singolo operatore produrrà circa:

$$Q = 144 * 2 * 8 * 5 * 4 * 12 = 552960 \text{ pz/anno}$$

Con un costo di 10,7 €/pz la spesa annuale per fare la produzione sarà di :

$$C_{\text{tot}} = Q_{\text{annuale}} * \text{costo al pezzo} = 552960 * 10.7 = 5'916'672 \text{ €}$$

Quindi un impianto tradizionale con un singolo operatore per stazione produce circa 3.6 volte meno di un impianto con due robot che automatizzano solo le attività più critiche e spende circa 2 volte di più.

L'impianto tradizionale ottimizzato con tre operatori nelle stazioni più critiche invece produrrà:

$$Q_{\text{pz/anno}} = 433 * 2 * 8 * 5 * 4 * 12 = 1'662'720 \text{ pz/anno}$$

Con una spesa al pezzo di 3.74 €/pz al pezzo:

$$C_{\text{tot}} = Q_{\text{annuale}} * \text{costo al pezzo} = 1662720 * 3.74 = 6'218'572 \text{ €}$$

La spesa risulta circa 2,3 volte superiore all'impianto robotizzato con una produzione 1.2 volte inferiore.

5. Conclusioni

L'analisi svolta mette in evidenza i vantaggi che derivano dall'installazione di robot negli impianti industriali. Tale automatizzazione è giustificata soprattutto per impianti di grandi dimensioni con una richiesta di produttività molto alta ma si può applicare anche su piccola media scala con robot progettati specificatamente in funzione dell'applicazione. Come visto nella trattazione l'investimento iniziale viene ammortizzato velocemente grazie ai risparmi sui costi di mancato completamento e sull'aumento esponenziale della produttività.

A queste considerazioni va aggiunto l'aumento di efficienza e il suo mantenimento costante durante tutta l'attività produttiva diversamente dall'operatore che ha picchi massimi e minimi di efficienza durante l'arco del turno. L'operatore può inoltre essere così sgravato dalle attività più alienanti e nocive per la salute per essere indirizzato verso operazioni dove la sua esperienza e manualità risulta indispensabile. Relativamente ai risparmi sui costi va tenuto in considerazione il fatto che il numero di operatori presenti nello stabilimento sarà necessariamente maggiore di quello considerato nella trattazione per tener conto di malattie, infortuni, ferie ecc. I robot hanno un costo di mantenimento legato alla manutenzione anche in funzione di come è stato progettato e per l'attività che deve svolgere ma tali costi risultano trascurabili se la macchina viene sfruttata per gran parte delle sue potenzialità cioè se la si impiega a regime.

L'interazione uomo robot è e sarà sempre più il fulcro degli impianti industriali: tutte le grandi aziende nel loro processo produttivo utilizzano robot per produrre su larga scala e per uniformare la produzione anche di pezzi complessi abbattendo i tempi con rendimenti altissimi e con margini di errori vicini allo zero, minimizzando gli scarti e gli sfridi. Tali soluzioni però non comportano una rinuncia al lavoro manuale ma semplicemente una revisione e una rioccupazione di esso : l'operatore come detto in precedenza verrà sgravato dei lavori più pesanti, ripetitivi e nocivi per la salute e verrà utilizzato in mansioni in cui risulta indispensabile.

6. Bibliografia

- Arienti M., (2010) - *Pulsar Industry presenta l'edizione 2010 di Dynamic, il software che facilita il controllo di efficienza e produttività*, TecnAlimentaria International magazine, Agosto-Settembre 2010, p.108.
- Arienti M., (2011) - *Tracciabilità, Qualità, Efficienza e produttività*, TecnAlimentaria International magazine, 10 Ottobre 2011, p.112.
- Arienti M., (2013) - *IFFA 2013: Pulsar Industry presenta le sue soluzioni innovative*, TecnAlimentaria International magazine, Maggio 2013, p.2.
- Arienti M., (2016) – *Pulsar Industry per i prosciuttifici*, TecnAlimentaria International magazine, Dicembre /Gennaio 2017, p.150.
- Arienti M., (2018) - *Tracciabilità, Qualità, Efficienza e produttività*, TecnAlimentaria International magazine, Dicembre/Gennaio 2019, p.112.
- Arienti M., (2018) - *Le soluzioni tecnologiche avanzate di Pulsar Industry a Meat-Tech 2018*, TecnAlimentaria International magazine, Maggio 2018, p.2.
- Attaianese E. & Duca G., (2008) - *Manuale di raccomandazioni ergonomiche per le postazioni di lavoro metalmeccaniche*, Inail direzione regionale della Campania, Fridericiana Editrice Universitaria, Napoli.
- Caldwell G.D, (2012) – *Robotics and automation in the Food Industry : current and future technologies*, Elsevier, Amsterdam.
- Cohen, Y., (2012) - *Absenteeism as a major cause of bottlenecks in assembly lines*, International Journal of Production Research, 50, 6072-6080.
- Falco D. & De Felice F., (2007) - *Progettazione e gestione degli impianti industriali*, Ulrico Hoepli Editore S.p.a., Milano.
- Kurfess R, T. (2018) – *Robotics and automation handbook*, CRC Press, Boca Raton (USA)
- Moore C.A. (2012) – *Automation in the Food Industry*, Springer, Berlino.
- Mordechai Ben-Ari & Mondada F., (2017) – *Elements of Robotics*, Springer, Berlino.
- Pallavicini G., (2013) - *Nuove prospettive per l'export USA. Si comincia dalla Summer Fancy Food*, Assica, L'industria delle carni e dei salumi, Giugno 2013, 3-5.

Pallavicini G., (2013) - *2012: un anno difficile per i prodotti della salumeria* , Assica, L'industria delle carni e dei salumi, Giugno 2013, 6-8.

Pareschi A., (2019) - *Impianti industriali criteri di scelta, progettazione e realizzazione*, Società Editrice Esculapio, Bologna.

Pareschi A., Ferrari E., Persona A. & Regattieri A., (2011) - *Logistica integrata e flessibile per i sistemi produttivi dell'industria e del terziario con applicazioni numeriche e progettuali*, Società Editrice Esculapio, 2011, seconda edizione, Bologna.

SEW EURODRIVE, (2008) - *Catalog DR-Gearmotors*, edition 01/2008

Werner Villa,S., Sella C. & Rossetto E., (2018) - *Autodesk Inventor Professional 2019*, Tecniche nuove, Milano.