



UNIVERSITÀ DI PISA

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'ENERGIA DEI SISTEMI,
DEL TERRITORIO E DELLE COSTRUZIONI**

**RELAZIONE PER IL CONSEGUIMENTO DELLA
LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA GESTIONALE**

***Flussi delle Unità di Carico in un magazzino
automatizzato***

SINTESI

RELATORI

Prof. Ing. Valeria Mininno
*Dipartimento di Ingegneria dell'Energia dei Sistemi,
del Territorio e delle Costruzioni*

Ing. Alberto Matteoli
Salvatore Ferragamo S.p.A.

IL CANDIDATO

Sara Mencagli
sara.mencagli@gmail.com

Flussi delle Unità di Carico in un magazzino automatizzato

Sara Mencagli

Sommario

Il presente lavoro di tesi si basa su un'esperienza di tirocinio, svolta presso il polo logistico dell'azienda Salvatore Ferragamo S.p.A. Lo studio analizza la problematica rilevata nel processo di imballaggio del magazzino automatizzato prodotti finiti, e ha l'obiettivo di ricercare e valutare interventi di miglioramento. L'oggetto del problema sono i rallentamenti e le code delle unità carico, colli e cassette contenenti i prodotti, che si formano sui nastri trasportatori in specifiche condizioni operative. Attraverso test e osservazioni effettuati sull'impianto, sono state individuate le cause e le sotto cause, e classificate in base all'area di appartenenza: hardware o software. Per ognuna di queste sono state proposte un ventaglio di soluzioni migliorative e stimati i benefici sul processo. In conclusione, è stato selezionato il sottoinsieme di soluzioni ottimali, in grado di massimizzare le performance, nel rispetto dei vincoli di costo e tempo definiti per il progetto.

Parole chiave: Magazzino automatizzato, processo di imballaggio, unità di carico.

Abstract

The present work is a result of an internship carried out at the logistic area of the company Salvatore Ferragamo S.p.A. The argument is focused on a problem within the packing process of automated warehouse for the storage of finished products, in order to find and to evaluate improvements works. This problem has, as the main object, the loading units handled from the conveyors of material handling system, that, in specific conditions don't allow the process to work.

After several tests and observations, the question is addresses from the point of view of software and hardware components, in order to look for the causes and in order to propose a range of possible solutions.

In the end, a subset of solutions is selected with the aim of increasing the performances of the process, in accordance with the time and cost constraints, established for the project.

Key words: Automated warehouse, packing process, loading units.

1. Introduzione

1.1 Contesto di riferimento

Il presente lavoro di tesi è il risultato di un tirocinio svolto presso il polo logistico dell'azienda Salvatore Ferragamo S.p.A. Lo scenario di riferimento è il **magazzino automatizzato** prodotti finiti, all'interno del quale viene portato avanti il progetto che ha lo scopo di risolvere una **problematica**, rilevata nel sistema di **imballaggio**. In tale magazzino, l'imballaggio avviene grazie ad un processo, che riceve in input cassette contenenti prodotti finiti, e, grazie ad una serie di attività svolte dall'operatore nella sua postazione, i prodotti vengono imballati in colli. Questo processo è reso possibile grazie ad una rete di percorsi costituiti da nastri trasportatori che guidano le unità di carico¹, cassette, dall'area di stoccaggio del magazzino, alle varie postazioni. All'interno di tale processo, lo studio si sofferma proprio su tali elementi, ovvero le unità di carico che vengono movimentate nell'unità di tempo sui nastri convogliatori. Chiameremo tali elementi flussi.

Il lavoro sottolinea in generale, l'importanza del corretto dimensionamento delle unità di carico e delle tratte, delle distanze, dei percorsi che esse devono seguire, per garantire movimentazioni efficienti all'interno del magazzino.

1.2 Articolazione del lavoro

La prima fase del lavoro è stata quella di analizzare la letteratura scientifica presente in questo campo con l'intento di approfondire gli elementi principali che entrano in gioco nel processo di imballaggio semi-automatizzato. Tale processo, è formato da un insieme di tecnologie e componenti che interagiscono come un sistema e permettono alle **unità di carico** di essere prelevate e movimentate fino alla postazione dell'operatore. A tal fine, la prima parte del lavoro è volta a chiarire il concetto di unità di carico, come tassello fondamentale per l'intera progettazione dei sistemi di tracciabilità, movimentazione, controllo e stoccaggio. La seconda parte del lavoro si sviluppa invece a partire dalla problematica, viene definito un **progetto** con vincoli di tempo e costo, al fine di intraprendere interventi di modifica sull'impianto. Dopo aver definito il problema con dati reali provenienti da test e osservazioni, vengono individuate le cause e classificate in base all'appartenenza, all'area impiantistica o all'area sistemi di gestione e controllo del magazzino. Vengono poi proposte soluzioni migliorative e stimati per ognuna i benefici. Lo step finale è stato quello di costruire un modello per individuare il

¹ Unità di base di stoccaggio e di trasporto, formata dall'insieme fisico di uno o più articoli di magazzino, anche diversi tra loro, e dell'eventuale materiale di confezionamento al fine di ottenere una movimentazione efficace.

sottoinsieme di soluzioni in grado di massimizzare i benefici, nel rispetto dei vincoli di costo e tempo del progetto.

2. Problematica

2.1 Rappresentazione

Il sistema di imballaggio avviene grazie ad un processo semi automatizzato, che riceve in input cassette contenenti prodotti finiti, e li “trasforma” in colli, grazie ad una serie di attività svolte dall’operatore nella sua postazione. Le unità di carico, contenenti prodotti che devono essere imballati, vengono prelevate dall’area di stoccaggio e indirizzate alle postazioni dell’operatore, grazie ad una serie di percorsi costituiti da nastri trasportatori. Le postazioni dell’operatore sono in totale sedici, e sono disposte in due nastri convogliatori ad anello chiuso (Loop 1 e Loop 2 in figura 1); tali configurazioni permettono di allocare le cassette che devono essere processate alla postazione corretta.

La problematica che ci siamo proposti di risolvere si verifica in **condizioni di lavoro** di sedici postazioni operative, ed è rappresentata dalla formazione di rallentamenti di colli e cassette sui sistemi di movimentazione.

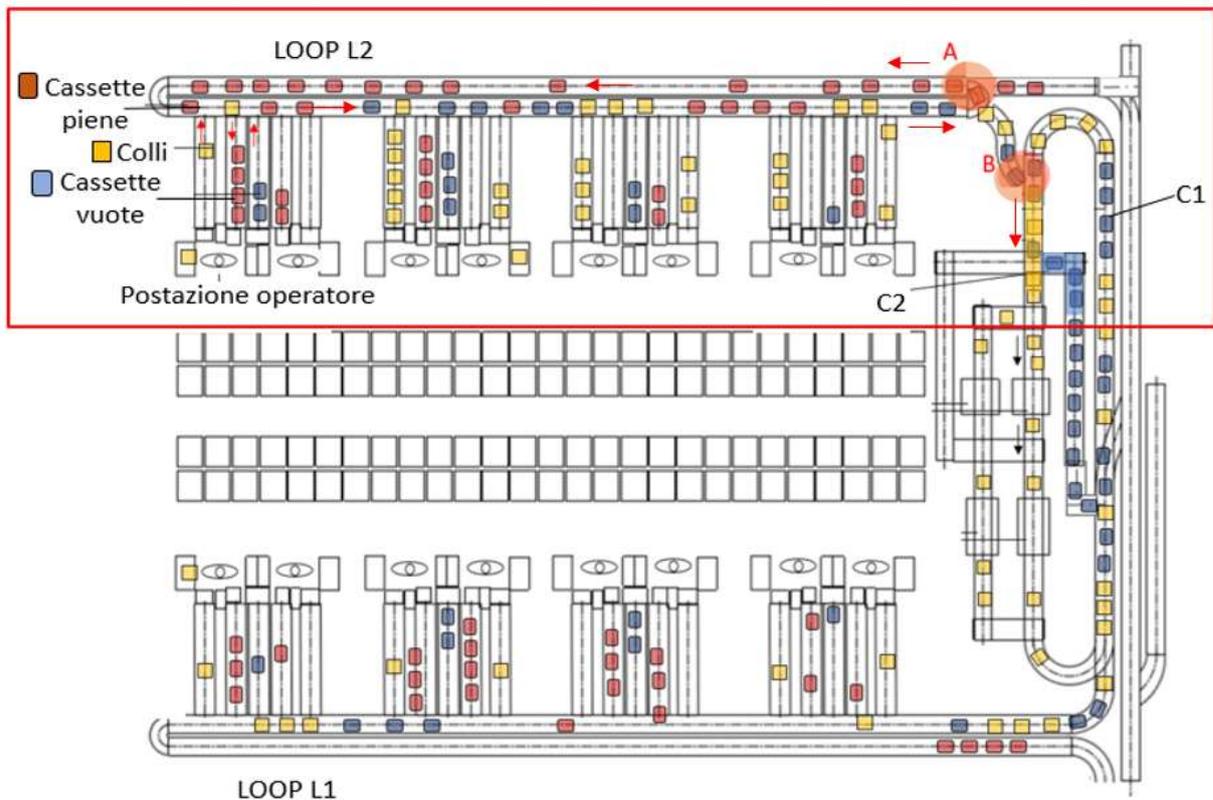


Figura 1: Layout dell’area di imballaggio

Tale problematica, ha come **conseguenza**, quella di impedire alle unità di carico da processare, di seguire i loro percorsi per raggiungere le postazioni dell'operatore, conseguenza che rende il lavoro di quest'ultimo non continuativo nel tempo e impedisce al processo di raggiungere le performance prefissate.

La figura 1 mostra il layout dell'area di imballaggio e il **flusso delle unità di carico** in condizioni operative di sedici postazioni.

Le posizioni libere sul convogliatore del loop L2 (evidenziato nel riquadro) vengono presto saturate a causa del traffico che si forma sul convogliatore C2 (evidenziato in giallo). Tale traffico impedisce alle cassette ormai processate di uscire (area B in figura) e anche alle nuove cassette da processare di accedere al loop L2 (area A in figura). Le unità di carico permangono nel loop L2 e continuano a percorrerlo senza disporsi nelle linee delle postazioni.

2.2 Componenti hardware e software

Se analizziamo il processo come un sistema formato da una componente hardware e una componente software, che interagiscono tra loro, possiamo fare le seguenti considerazioni: per quanto riguarda la parte impiantistica, come mostrato nella figura 2, i due convogliatori ad anello chiuso, che chiameremo loop L1 ed L2 ricevono in input cassette contenenti prodotti finiti da imballare e, a loro volta, generano in output cassette vuote e colli (assumiamo che una cassetta genera un collo e una cassetta vuota). Entrambi questi flussi si concentrano sul **convogliatore di uscita C2**, dove in condizioni operative di sedici postazioni attive, si formano le code e i rallentamenti. Queste code impediscono alle Udc di uscire dai due loop e posizionarsi correttamente nelle postazioni. La figura 2 ha lo scopo di mostrare l'entità dei flussi delle unità di carico e le varie tipologie di queste ultime, attraverso le fasi del processo.

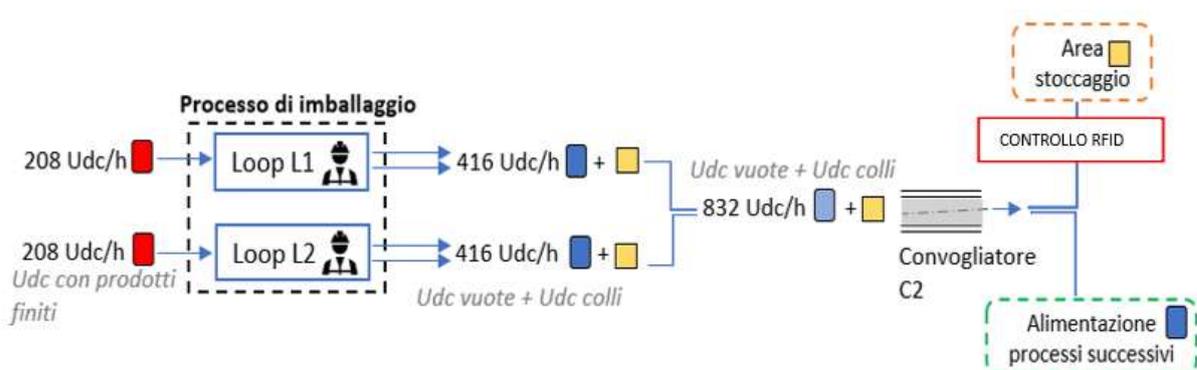


Figura 2: Flussi delle Udc nel processo di imballaggio

Concentriamoci adesso sulla componente governata di sistemi di gestione e controllo del magazzino, WMS² e WCS³. L'algoritmo di allocazione come mostra la figura 1 distribuisce i batch⁴ di unità di carico alle postazioni secondo seguenti **vincoli principali**: le cassette che appartengono allo stesso batch, il cui contenuto deve quindi andare nello stesso collo, devono entrare nel buffer⁵ della postazione in modo consecutivo, i batch devono entrare nelle linee delle postazioni rispettando l'ordine temporale pianificato. In condizioni in cui lavorano sedici operatori, le cassette da processare aumentano, e si verificano situazioni nelle quali, le Udc⁶ da processare, dovendo aspettare tutte le relative precedenze, percorrono in loop il convogliatore ad anello chiuso, fino a saturarne le posizioni. La figura 3 mostra i flussi delle Udc attraverso i tre convogliatori presenti nella postazione dell'operatore: linea di entrata cassette con prodotti finiti, di uscita cassette vuote, di uscita colli.

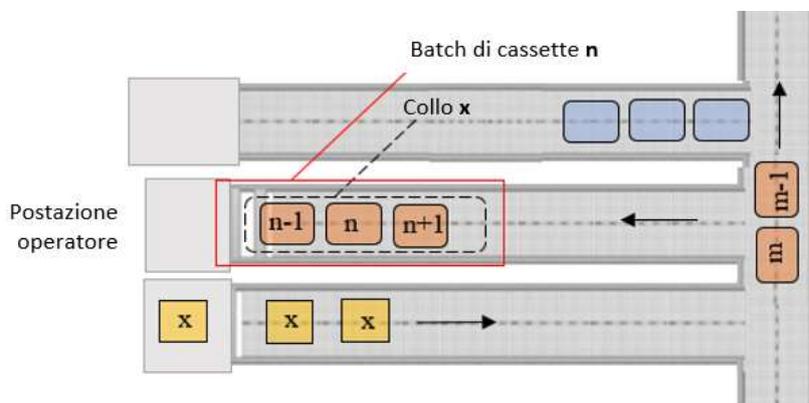


Figura 3: Flussi delle unità di carico attraverso la postazione operatore

3. Progetto

3.1 Obiettivo

L'impianto automatizzato è stato dimensionato per raggiungere le **performance attese** per il **2026**, questo risultato, può essere raggiunto in condizioni di sfruttamento della capacità produttiva del processo, pari a **sedici postazioni**. Alla luce delle considerazioni fatte nel paragrafo precedente, in tali condizioni operative, il processo di packing, risulta essere inefficiente a causa dei rallentamenti di unità di carico che si formano sui convogliatori. Obiettivo del progetto è quello di ricercare le cause di tale inefficienza e indagare l'esistenza di soluzioni migliorative volte ad ottimizzare i flussi delle unità di carico sui convogliatori,

² Warehouse management system

³ Warehouse control system

⁴ Insieme di unità di carico con prodotti finiti

⁵ Posizioni disponibili sulla linea di accumulo cassette contenenti prodotti finiti nella postazione operatore

⁶ Unità di carico

ovvero la distribuzione di questi ultimi, sui percorsi dell'area del processo, a parità di unità di carico in ingresso.

3.2 Vincoli

Le **risorse monetarie** disponibili per il progetto sono state calcolate, assumendo di poter attingere dalla riserva di gestione, fino ad un massimo del 5%. Relativamente ai **vincoli temporali**, il progetto miglioramento deve essere implementato necessariamente in un periodo non di picco, in termini di quantità ricevute di prodotti finiti e spedizione di questi ultimi. Per evitare fenomeni di sovrapposizione degli effetti e rendere difficile la stima dei benefici, gli interventi migliorativi, se più di uno, devono essere implementati con almeno 1 mese di intervallo tra l'uno e l'altro. La tabella 1 riassume i vincoli di tempo e costo.

Risorse monetarie	Tempi a disposizione	Altri vincoli temporali
260.000 €	2 mesi per l'installazione (1agosto-1ottobre)	15 giorni di intervallo tra le modifiche sull' impianto (nel caso in cui siano più di una);

Tabella 1: vincoli di costo e tempo del progetto

3.3 Indicatori

Le soluzioni proposte verranno valutate in base alla riduzione del "traffico" delle Udc in uscita dall'area di imballaggio [Udc/h], ovvero a parità di Udc in ingresso, sull'ottimale suddivisione di queste ultime sui convogliatori. L'indicatore, riportato nella tabella 2, mostra il valore obiettivo della riduzione del flusso, una riduzione dei flussi del 20 %, permette di guadagnare il 20 % "in più" (del totale di Udc movimentate) di posizioni sul convogliatore.

Indicatore	Valore	Valore obiettivo
Riduzione del traffico dei flussi di unità di carico sui convogliatori.	$= \left[\frac{\frac{Udc}{h} \text{ fin.} - \frac{Udc}{h} \text{ iniz.}}{\frac{Udc}{h} \text{ iniz.}} * 100 \right] \%$	-20% (dell'output totale)

Tabella 2: Indicatori di risultato

4. Analisi della problematica

4.1 Test e osservazioni

In questa fase l'obiettivo è stato quello di definire il problema con dati reali. Abbiamo ricreato le condizioni in cui si è verificata la problematica e abbiamo condotto test e osservazioni sul processo. I test sono stati condotti grazie alla partecipazione degli operatori, ai quali sono stati distribuiti moduli da compilare, per raccogliere dati circa il tempo in cui non erano operativi. Questi test hanno reso possibile il calcolo dell'inoperatività per ogni postazione, ovvero il tempo in cui ogni operatore rimane senza cassette con prodotti finiti da imballare.

4.2 Individuazione delle cause e delle sotto cause

Le osservazioni, condotte sull'impianto nelle condizioni critiche, hanno inoltre agevolato l'individuazione delle cause e delle sotto cause della problematica.

Queste sono state individuate sia dal punto di vista delle **logiche di allocazione** delle unità di carico alle postazioni di packing, sia dal punto di vista impiantistico e relativo ai **sistemi di movimentazione**. La tabella 3 mostra una sintesi delle cause individuate.

	Causa del problema	Descrizione della causa	Sotto causa
Software	Le Udc (cassette con prodotti finiti) aspettano le precedenze secondo i vincoli dell'algoritmo di allocazione alle postazioni.	Le cassette piene devono disporsi nelle linee delle postazioni di imballaggio rispettando i vincoli: ordine temporale di processamento, consecutività delle cassette appartenenti allo stesso batch.	Quantità di cassette appartenenti allo stesso batch (il contenuto di un batch deve essere inserito nello stesso collo).
Hardware	Code e rallentamenti di cassette e colli sul convogliatore ad anello chiuso L2 e sul convogliatore C2.	Il convogliatore C2 si congestiona e impedisce alle Udc di uscire dal convogliatore L2 ad anello chiuso.	Differenza velocità v tra il convogliatore all'interno e all'esterno del varco RFID per il controllo della merce imballata; Nastratrice automatica bloccata; Impilatore automatico bloccato; Flussi Udc (cassette vuote e colli) non disaccoppiati; Udc (cassette vuote) non utilizzate vengono immesse in circolo.

Tabella 3: Cause della problematica

5 Proposte di miglioramento

5.1 Possibili soluzioni

La fase successiva del lavoro ha avuto lo scopo di individuare **soluzioni migliorative** per ognuna delle cause individuate. Le soluzioni sono il risultato di riunioni di brainstorming con il personale dell'azienda fornitrice dell'impianto e il personale del polo logistico.

A **livello software** viene proposto di eliminare alcuni vincoli dell'algoritmo di allocazione delle cassette da processare alle postazioni operatore. Nella situazione AS IS, le cassette il cui contenuto deve essere imballato in uno stesso collo devono essere necessariamente sequenziate prima di poter entrare nella postazione operatore. Con la modifica proposta, queste potranno accedere alla postazione, consecutivamente, anche se il loro contenuto deve essere imballato in colli diversi. Il sistema tramite un avviso, darà la possibilità all'operatore di mettere il collo che sta imballando in stand by, e processare la cassetta successiva in un nuovo collo.

A **livello impiantistico**, sono individuati un ventaglio di interventi di modifica sui sistemi di movimentazione. Tali interventi, hanno lo scopo di ottimizzare, a parità di flussi delle unità di carico in ingresso, la distribuzione di queste ultime sui nastri convogliatori dell'area del processo. Per quanto riguarda il **controllo RFID** che rallenta i flussi di unità di carico, la soluzione proposta è quella di spostare il tunnel in una posizione successiva, in modo da aumentare le posizioni disponibili per le cassette e i colli prima che si formi la coda.

In relazione ai **flussi** di colli e cassette vuote **non disaccoppiati**, la soluzione individuata prevede l'installazione di un convogliatore, "rulliera", che ha lo scopo di far fuori uscire le cassette vuote in un momento anticipato rispetto alla situazione AS IS. Questa modifica andrebbe quindi a diminuire il tratto in cui le unità di carico cassette vuote e colli si muovono sullo stesso convogliatore. Tale soluzione può essere implementata, installando una "rulliera" che permette l'uscita delle cassette vuote dal convogliatore C1 (in figura 1) o due "rulliere": la prima installata nel convogliatore C1 e una nel convogliatore ad anello L2. Una soluzione che andrebbe ad agire invece sui guasti della **nastratrice** è l'installazione di una terza nastratrice automatica dopo il varco RFID, questa installazione richiederebbe l'aggiunta di un terzo nastro convogliatore motorizzato, e permetterebbe una suddivisione aggiuntiva dei flussi di colli. La modifica migliorativa proposta per le **cassette vuote che ricircolano** per l'impianto prevedrebbe invece l'inserimento di un convogliatore che colleghi la linea di uscita delle cassette vuote, dall'area di imballaggio al buffer cassette vuote presente al piano inferiore del magazzino, riassorbendo tutte quelle cassette che non devono andare ad alimentare alcun

processo dell'impianto. Relativamente alle cause di guasto legate all'**impilatore automatico** delle cassette vuote, la maggior parte dei guasti si verifica a causa dell'usura delle cassette vuote che circolano nel magazzino; essendosi deformata la superficie laterale di queste ultime, la macchina si blocca. Per ovviare a questo problema la soluzione proposta prevede la sostituzione dell'intero lotto di cassette vuote, con nuove cassette di materiale diverso, sempre corrispondenti allo stesso peso e dimensioni.

5.2 Stima dei benefici

Dopo aver individuato possibili interventi migliorativi, la fase successiva del lavoro ha avuto l'obiettivo di stimare i benefici, espressi come l'entità della **riduzione** del **traffico** sui convogliatori. Tale riduzione ci ha permesso di calcolare anche di quanto possiamo **incrementare** le **performance** del processo di imballaggio, prima di congestionare l'impianto. In sintesi, abbiamo aumentato le posizioni sui percorsi dei convogliatori dell'area di imballaggio, e questa diminuzione ci consente di processare un maggior numero di cassette; prima di generare code e rallentamenti. Questa analisi è stata svolta assumendo di poter incrementare il numero di Udc processate all'ora, fino a toccare la soglia critica, e che l'operatore possa incrementare la sua produttività. La tabella 4 mostra le performance massime raggiungibili nella situazione AS IS e quelle ottenibili nella situazione TO BE.

Possibili soluzioni	Performance limite situazione AS IS (soglia limite prima di congestionare l'impianto)	Δp	Performance ottenibili situazione TO BE (soglia limite prima di congestionare l'impianto)
A) Spostamento tunnel RFID	< 416 Udc/h	4 Udc/h	< 420 Udc/h
B) Convogliatore 1		104 Udc/h	< 520 Udc/h
C) Convogliatori 1 e 2		208 Udc/h	< 624 Udc/h
D) Convogliatore ricircolo		25 Udc/h	< 441 pezzi/h
E) Nastratrice automatica		70 Udc/h	< 486 Udc/h

Tabella 4: Stima dell'aumento di performance per ogni soluzione

5.3 Scelta finale

Step finale del lavoro è quello di costruire un modello per individuare l'insieme di soluzioni in grado di massimizzare i benefici, nel rispetto dei vincoli di costo e tempo del progetto.

Per risolvere tale problema e determinare un **subset di soluzioni ammissibili** il modello è stato impostato su Excel. Inserendo come input, i risultati ottenuti dal calcolo dei benefici, i vincoli di costo e di tempo, il problema ha prodotto 64 soluzioni, di cui 18 ammissibili. Le soluzioni che massimizzano i benefici in termini di aumento delle posizioni buffer sui sistemi di movimentazione sono l'inserimento della "rulliera" sul convogliatore C1 l'inserimento di due "rulliere"; quella appena descritta e quella nel loop L2.

La seconda soluzione, prevederebbe un aumento dei flussi che andrebbe a saturare la capacità del discensore automatico posto alla fine del processo di imballaggio, condizione che potrebbe portare nuovamente alla congestione dell'impianto. Fatte queste considerazioni la soluzione migliore, potrebbe essere quella di utilizzare le risorse di questo progetto per l'inserimento della "rulliera" nel convogliatore C1, inserimento che non preclude in futuro l'inserimento di una seconda "rulliera" tenendo conto dei benefici calcolati in questo studio.

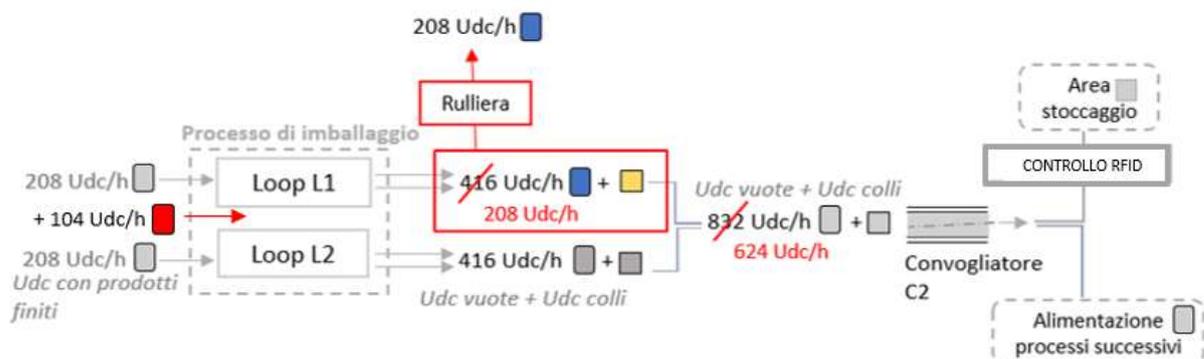


Figura 4: Flussi delle unità di carico nella situazione TO BE

Implementando questa modifica migliorativa, come mostra la figura 4, si liberano 208 posizioni buffer (riquadro rosso in figura) che possono essere "rimpiazzate" da 208 Udc. Se assumiamo, che una cassetta con prodotti, genera una cassetta vuota e un collo, possiamo processare 104 cassette contenenti prodotti finiti "in più", all'ora. L'output di tali cassette, 104 colli e 104 cassette vuote, andrà ad occupare lo spazio pari a 208 posizioni, reso disponibile. Le performance dell'impianto raggiungono un totale di 520 Udc/h (416[Udc/h] + 104[Udc/h]).

6. Conclusioni

L'implementazione della soluzione scelta, permette all'impianto di lavorare in modo efficiente ed efficace, anche in condizioni di totale sfruttamento delle postazioni del processo di imballaggio. L'impianto, grazie a tale modifica è inoltre in grado di raggiungere performance maggiori in termini di cassette processate all'ora. La figura 5 riporta le performance ottenibili in seguito all'installazione della modifica appena descritta.

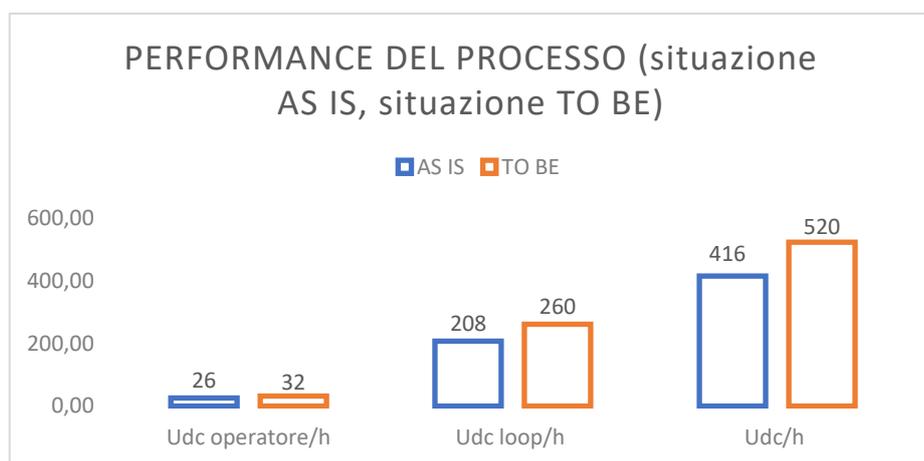


Figura 5: Performance del processo [Udc/h]

Come mostrato in figura 5, ogni postazione operatore riesce, anche in condizioni di lavoro di sedici postazioni attive, a processare 26 Udc/h; assumendo inoltre, di poter incrementare la produttività dell'operatore, questo può processare alla sua postazione fino a 32 Udc/h senza che l'impianto si congestioni.

In generale, l'obiettivo principale è stato quello di aumentare la flessibilità dei sistemi di movimentazione, ovvero permettere alle unità di carico di seguire le logiche e i percorsi in modo ottimale anche in condizioni di totale sfruttamento della capacità produttiva. Il lavoro evidenzia inoltre, l'importanza di utilizzare un approccio integrato che consideri sia la corretta progettazione dei processi dal punto di vista impiantistico sia le logiche di gestione come l'allocazione delle unità di carico alle postazioni.

Il processo di imballaggio ricopre all'interno del magazzino automatizzato un ruolo fondamentale, un sistema di imballaggio efficace contribuisce significativamente all'intento di garantire un livello di servizio adeguato al cliente. Tale requisito, diventa un fattore competitivo di massima importanza e assume un ruolo centrale della strategia, in un mercato altamente competitivo come quello del fashion luxury in cui ci troviamo.