



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

## ANALISI DELLE PRESTAZIONI DI UN MAGAZZINO AUTOMATIZZATO

### SINTESI

---

#### RELATORI

Prof.ssa. Valeria Mininno

*Dipartimento di Ingegneria dell'Energia dei Sistemi,  
del Territorio e delle Costruzioni*

Prof. Davide Aloini

*Dipartimento di Ingegneria dell'Energia dei Sistemi,  
del Territorio e delle Costruzioni*

Ing. Emanuele Guerrazzi

*Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione*

#### IL CANDIDATO

Ing. Tommaso Tarantola

*tommytara94@gmail.com*

Sessione di Laurea del 02/09/2019

Anno Accademico 2018/2019

Consultazione NON consentita

## Sommario

L'obiettivo di questo progetto di tesi consiste nell'**analisi delle prestazioni di un magazzino** completamente automatizzato atto allo stoccaggio di pneumatici. Le principali attività svolte sono state: la mappatura del sistema, la raccolta dati (log delle movimentazioni, log degli eventi registrati dai PLC, dati geometrici e cinematici), la stima delle prestazioni ideali, la misura delle prestazioni reali, l'identificazione delle cause di inefficienza e l'analisi approfondita delle inefficienze meccatroniche e delle inefficienze dovute a l'alto numero di articoli immagazzinati e la creazione di un ranking delle tipologie di articolo da stoccare nel magazzino. I risultati raggiunti sono stati:

- la **rappresentazione** oggettiva delle **prestazioni** dell'impianto e del loro scostamento rispetto ai valori ideali e di progetto;
- la quantificazione dell'**impatto** delle **inefficienze meccatroniche** e l'individuazione del reparto navette come area di maggior criticità;
- la quantificazione dell'**impatto** del **numero di tipologie di articolo** sulle prestazioni dell'impianto, in termini di unità immagazzinabili e movimentabili, e la creazione di un modello generale per la valutazione dello stesso;
- un database riportante un **ranking** delle diverse tipologie di articolo per cui è maggiormente sensato utilizzare il magazzino automatizzato per lo stoccaggio. Per motivi di sintesi questo elemento non è stato discusso in questo documento.

## Abstract

The objective of this thesis is to **analyze the performance of a fully automated warehouse** for the storage of tires. The main activities carried out were: mapping of the system, data collection (movement log, log of events recorded by PLCs, geometric and kinematic data), estimation of ideal performance, measurement of real performance, identification of inefficiency causes and in-depth analysis of mechatronic inefficiencies and inefficiencies due to the high number of stored items types and the creation of a ranking of the types of items. The results achieved were:

- objective **representation of the performance** of the plant and their deviation from the ideal and project values;
- the quantification of the **impact of mechatronic inefficiencies** and the identification of the shuttle department as the most critical area;
- the quantification of the **impact of the number of types of items** on the performance of the plant, in terms of units that can be stored and handled, and the creation of a general model for the evaluation of the same;
- a database showing a **ranking** of the different types of items for which it makes more sense to use the automated warehouse. For reasons of synthesis this element has not been discussed in this document.

## 1 – Il sistema esistente

Questo progetto di tesi si inserisce in un progetto di collaborazione di ricerca più ampio tra il dipartimento DESTEC dell'Università di Pisa e la società Univergomma Spa. Per motivi di sintesi è stato scelto di non inserire in questo documento una descrizione esaustiva del sistema in cui si sono svolte le analisi, ma di evidenziarne unicamente le caratteristiche peculiari che lo distinguono dalla maggioranza degli altri sistemi già noti in letteratura. Per una trattazione esaustiva della struttura e del funzionamento del magazzino si rimanda al documento principale.

Il magazzino automatizzato della società Univergomma Spa. è classificato in letteratura come **AVS/RS** (Autonomous Vehicle Storage and Retrieval System). Il sistema ha lo scopo di **movimentare** e **immagazzinare pneumatici**. La movimentazione viene effettuata per mezzo di nastri trasportatori e navette (shuttle). Gli pneumatici vengono movimentati e immagazzinati sottoforma di pile all'interno del magazzino e dei nastri di input mentre vengono movimentati come singole unità nella parte finale dei nastri di output. Il sistema è dotato di impilatori e disimpilatori automatici. A livello logico le unità vengono movimentate in treni, vale a dire l'insieme di due o tre pile di unità in funzione della tipologia. Il sistema è composto da:

- 6 corsie (aisle);
- 6 piani (tier);
- 45 campate (bays) per ognuno dei due lati di ogni corsia (38 per lato sinistro in corsia uno).

La specifica combinazione di corsia, piano e campata identifica il tunnel. Il tunnel è la partizione fisica del magazzino di più basso livello. All'interno di ogni tunnel possono essere stoccate più file di pile di pneumatici. La fila è l'unità di locazione base. Il sistema può operare in diverse modalità in stoccaggio e prelievo.

A differenza dei sistemi AVS/R classici il magazzino in questione presenta tre particolarità:

- il numero di file stoccabili per ogni tunnel dipende dal diametro dell'unità e viene assegnato in modo dinamico al tunnel;
- il numero di pile stoccabili per ogni fila dipende dal diametro dell'unità e viene assegnato in modo dinamico alla fila;
- il numero di unità per ogni pila dipende dall'altezza dell'unità e viene assegnato in modo dinamico alla pila.

## 2 – Obiettivi

Lo scopo del progetto è l'**analisi** delle **prestazioni** attuali della componente automatizzata del magazzino situato presso Scandicci (FI) e la creazione di **strumenti** e **indicatori** che costituiscano una **base oggettiva** di supporto alle decisioni. Si è inoltre fornito supporto nel processo di sviluppo di un simulatore per riprodurre la realtà dell'impianto e testare possibili ipotesi di miglioramento. Tale simulatore è ancora in fase di sviluppo e non verrà inserito nel progetto di tesi.

I sotto-obiettivi di questo progetto di tesi sono stati:

- l'**analisi delle performance ideali** del magazzino
- l'**analisi delle performance reali** del magazzino;
- l'**identificazione** delle possibili **cause di inefficienza**;
- l'**identificazione** di un **modello** che permetta la stima dell'impatto del numero di tipologie di articolo sulle prestazioni dell'impianto;
- l'**identificazione** delle **aree di intervento** più critiche al fine di migliorare le performance.

### 3 – Analisi delle prestazioni

L'obiettivo è valutare le prestazioni reali dell'impianto nell'anno 2018 e confrontarle con le prestazioni dichiarate nel progetto e le prestazioni massime raggiungibili considerando unicamente i dati geometrici e cinematici.

La direzione valuta le performance secondo due indicatori:

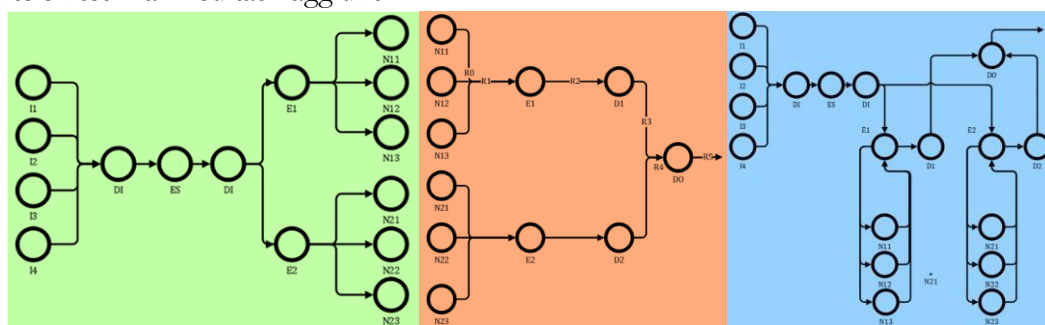
- **numero di unità immagazzinabili;**
- **numero di unità movimentabili in un'ora.**

A livello progettuale l'impianto avrebbe dovuto permettere lo stoccaggio di 400,000 unità e la movimentazione di 3,600 unità/ora. Si sono mantenuti questi indicatori per avere un confronto coerente con gli indicatori già noti alla direzione.

#### 3.3 – Prestazioni ideali

##### Numero unità movimentabili

Utilizzando i dati sulle variabili cinematiche fornite da i produttori e i dati geometrici del magazzino estratti dai file dei progetti di costruzione, si è calcolato il rateo produttivo, valutato come numero di unità nell'intervallo di tempo, su base oraria, per ogni macchina presente nell'impianto. Si è fatta l'ipotesi di piena efficienza e distribuzione ottimale degli articoli nel magazzino. Si è creata una rete logica rappresentante i flussi fisici nelle diverse modalità di funzionamento (Fig.1). La tabella seguente sintetizza i risultati raggiunti.



(Fig. 1 – Schema logico semplificato dell'impianto: in verde schema in prelievo, in rosso schema in stoccaggio, in blu schema in prelievo e stoccaggio)

---

Il rateo produttivo massimo in prelievo è di 3600 unità/ora

---

Il rateo produttivo massimo in stoccaggio è di 2880 unità/ora

---

Il rateo produttivo massimo in prelievo e stoccaggio è di 6480 unità/ora

---

##### Numero unità immagazzinabili

Si è costruita una copia virtuale del magazzino basandosi sui dati progettuali e i valori registrati dal sistema di controllo informatico; si è calcolato il numero massimo di unità immagazzinabili supponendo di saturare ogni locazione a magazzino considerando le caratteristiche dimensionali medie delle unità movimentate nel 2018.

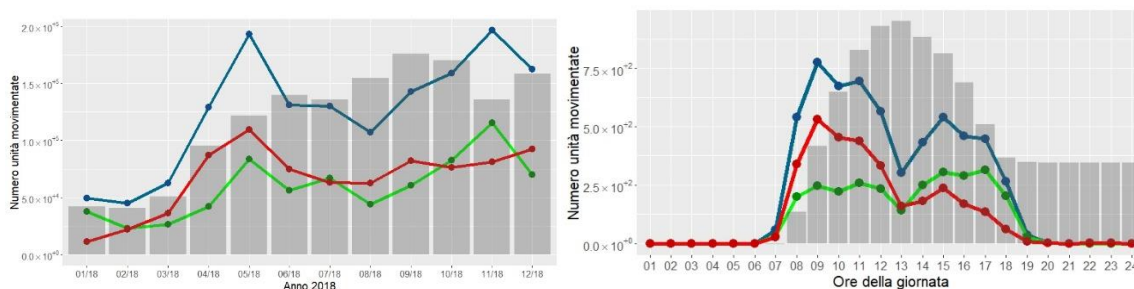
Grandezza	Valore
Diametro	616.75
Altezza	200.85
Numero unità per pila medio	3.43
Numero file per tunnel medio	2.22

Si è calcolato che il numero massimo di unità immagazzinabili è di 315,000.

### 3.3 – Prestazioni reali

#### Numero di unità movimentate

Si sono utilizzati diversi file di log relativi alle movimentazioni nell'anno 2018 per ricostruire l'insieme di tutte le movimentazioni effettuate. Si è dovuta svolgere un'analisi approfondita delle informazioni contenute nei file di log in quanto presentavano dati mancanti e dati memorizzati con valore errato. Si è ricostruito l'andamento delle movimentazioni su diversi intervalli temporali di raggruppamento (anno, settimana, giorno) che potessero evidenziare i periodi di maggiore attività. Si è poi calcolata la distribuzione del numero di unità movimentate per ogni ora di funzionamento. Si sono identificati i **periodi di picco** di attività nel mese di Novembre e nell'orario compreso tra le 10:00 e le 11:00.



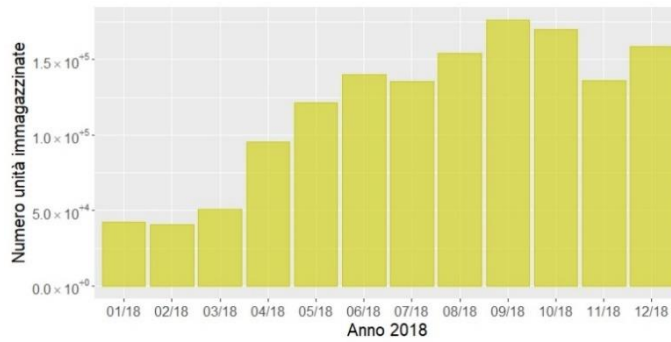
(Fig.2 – Grafici numero di unità movimentate: a sinistra nell'anno, a destra nella giornata; i colori delle linee indicano il tipo di movimentazione: rosso stoccaggio, verde prelievo, blu totale; le barre grigie rappresentano il numero di unità a magazzino (anno) o la loro variazione(giorno))

Grandezza	Valore
Numero medio di unità movimentate all'ora	521.81
Deviazione st. numero di unità movimentate all'ora	360.45
Massimo numero di unità movimentate in un'ora	1828
Numero medio di unità movimentate all'ora novembre 2018	706.45
Numero medio di unità movimentate all'ora novembre 2018 dalle 10:00 alle 11:00	864.91

#### Numero di unità immagazzinate

Si è calcolato il numero di unità immagazzinate per ogni **ora** di funzionamento dell'impianto.

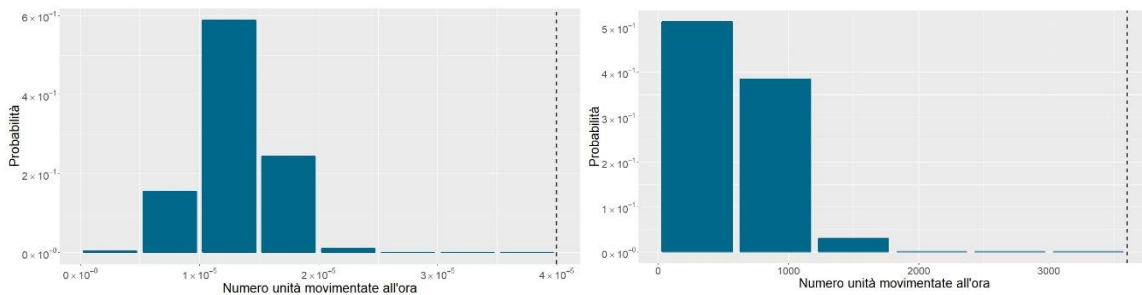
Grandezza	Valore
Numero medio di unità immagazzinate	129,874
Deviazione st. numero di unità immagazzinate	32,540
Massimo numero di unità immagazzinate	175,586
Minimo numero di unità immagazzinate	65,863



(Fig. 3: Numero di unità immagazzinate per ogni mese di funzionamento dell'impianto)

### 3.4 – Confronto tra prestazioni reali e di progetto

Basandoci sui valori di media e dev.st. misurati si sono calcolate le distribuzioni delle popolazioni di numero di movimentazioni orarie e numero di unità immagazzinate al fine di fare un confronto con i dati progetto e verificare se appartenessero a due popolazioni diverse. Tuttavia, dal momento che non sono stati forniti valori medi né dev.st. relativi ai valori di progetto non si è potuto procedere al test di ipotesi basato su  $p$ -value. Si è calcolato la probabilità di raggiungere il 100%, l'80% e il 50% dei valori di progetto.



(Fig. 4: Istogramma delle probabilità di raggiungere diversi intervalli di prestazione)

---

La probabilità di raggiungere il 50% della **giacenza** dichiarata nel progetto è di  $9.8 * 10^{-3}$

La probabilità di raggiungere il 50% del **rateo produttivo** dichiarato nel progetto è di  $1.9 * 10^{-4}$

---

Si conclude che il magazzino **non rispetta il livello di prestazioni previste** in quanto, sia per la capacità di immagazzinamento che per il rateo produttivo, la probabilità di raggiungere il 50% dei valori di progetto è inferiore all'1%, considerando i livelli di prestazione misurati. Tale carenza non è dovuta ad una mancanza di domanda, ma da una reale incapacità dell'impianto di soddisfare le richieste di produzione in quanto si è più volte verificato l'annullamento di ordini a causa del livello di saturazione e, nei periodi di massima attività, l'ampliamento del numero di turni settimanali pur mantenendo prestazioni massime per turno simili a quelle nei periodi di non saturazione.

Nel capitolo seguente si analizzeranno le motivazioni di questo scostamento.

## 4 - Cause di inefficienza

### 4.1 – Introduzione

L'obiettivo di questo capitolo è andare a svolgere un'analisi delle possibili cause di inefficienza. Per inefficienza si intende una differenza, valutata nei termini di un parametro di riferimento, tra un valore reale misurato e un valore teorico generato attraverso ipotesi su un modello o attività di simulazione. Non è stato utilizzato nessun particolare paradigma per scegliere come classificare le inefficienze individuate ma se ne è prodotto uno in base a valutazioni qualitative derivate dal confronto con gli operatori dell'impianto.

In generale non è possibile tracciare in maniera univoca il confine netto tra le diverse tipologie di cause di inefficienza; ad esempio non si può non considerare l'impatto di una certa probabilità di guasto sulle scelte riguardo alla logica di prelievo/stoccaggio ottimale.

Per valutare l'impatto delle possibili cause di inefficienza sono stati scelti **indici di performance** specifici; dato che il progetto si è focalizzato sul magazzino e non ha preso in considerazione variabili esterne allo stesso, non sono state considerate le componenti economiche – finanziarie, ma solamente quelle operative.

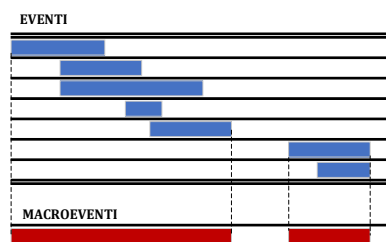
### 4.2 – Inefficienze meccatroniche-informatiche

Si è scelto di analizzare in maniera omogenea sia le inefficienze dovute alla meccanica e la sensoristica dell'impianto sia le inefficienze di controllo informatico, in quanto, date le fonti di informazione a disposizione, non si ha la possibilità di discriminare in maniera automatica a quale categoria appartengano le une o le altre. Come fonti di informazioni si sono utilizzati i file di log degli eventi registrati dai PLC.

Si è scelto di utilizzare come indicatore preliminare di analisi il numero di **minuti-macchina di blocco per unità movimentata**.

Per rendere utilizzabile il file relativo agli **eventi** registrati dai PLC si è resa necessaria una profonda analisi e revisione degli stessi:

1. Si sono dovuti **rielaborare** i file PDF contenenti i dati andando ad **estrapolare**, mediante tecniche di text-mining, le specifiche informazioni relative alla tipologia di evento, alla zona di accadimento e al timestamp.
2. Si sono dovute andare ad **identificare** le **coppie di eventi** che definissero un intervallo che rappresentasse effettivamente la durata dell'evento di allarme;
3. Si sono dovuti **raggruppare** questi **intervalli**, spesso sovrapposti tra loro, al fine di indentificare il reale intervallo di tempo in cui una determinata macchina risultasse inaccessibile (Fig. 5);
4. Si è **standardizzato** il numero di minuti di blocco per ogni macchina in funzione del numero di unità movimentate dalla stessa nel periodo preso in esame incrociando i dati degli eventi registrati dai PLC con il file di log delle movimentazioni nel 2019.



(Fig. 5: Schema della logica utilizzata per raggruppare gli intervalli tra eventi calcolati su una specifica macchina in macro-eventi di blocco significativi)

---

## Valori misurati

---

Il numero totale di eventi identificati: 289,613

---

Il numero di eventi dotati di semantica riconoscibile: 279,001

---

Il numero di intervalli tra eventi identificati: 95,517

---

Il numero di macro-eventi: 33,713

---

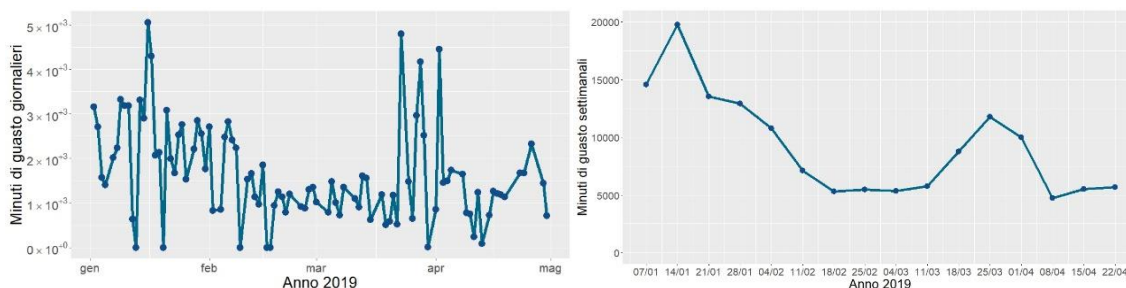
Numero di tipologie di diversi messaggi di errore: 648

---

Numero di diverse zone dell'impianto con almeno un evento: 154

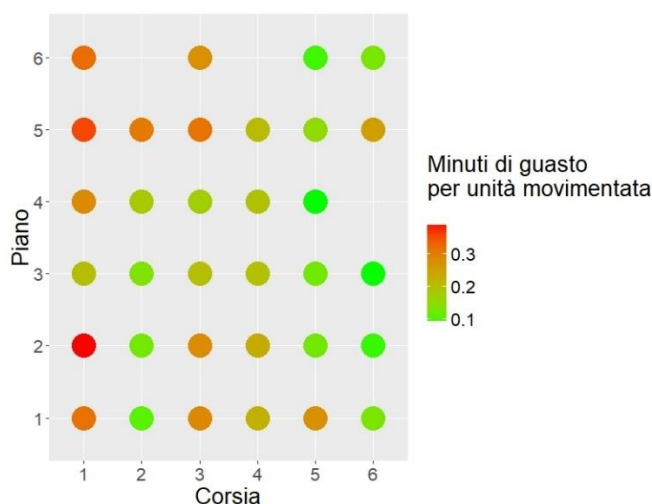
---

Si è identificato il **reparto navette** come **elemento critico** in quanto è composto dal 23,4% delle macchine ma genera il 73,4% degli eventi di allarme.



(Fig. 6: Grafico del numero di minuti di guasto complessivi registrati nel reparto navette: a sinistra su base giornaliera e a destra su base settimanale)

Si sono calcolati i **minuti di blocco per unità movimentata** medi per ogni navetta e la distribuzione sulle diverse corsie e piani dell'impianto al fine di identificare le aree di maggiore criticità.



(Fig.7: Grafico del numero di minuti di blocco per unità movimentata per ogni navetta)

---

## Valori misurati

---

Il valore medio di minuti di blocco per unità movimentata è di  $0.42 \text{ min/u}$ .

---

Valore massimo  $6.7 \text{ min/u}$  per la navetta 26

---

Valore minimo  $0.08 \text{ min/u}$  per la navetta 54

---

Si è scelto di riassumere l'**impatto** delle **inefficienze** meccatroniche con degli indicatori che stimassero la probabilità di non poter accedere ad una determinata porzione dell'impianto (macchina) a causa di un suo blocco. Nel caso in esame i valori numerici si riferiscono alle quantità medie misurate nel reparto navette:



$$p_{\text{blocco in funzionamento}} = \frac{\Delta t_{\text{guasto}}}{\Delta t_{\text{funzionamento macchina}}} = \frac{13 \text{ sec/u}}{20 \text{ sec/u}} = 0.65$$

$$p_{\text{blocco in reperibilità}} = \frac{\Delta t_{\text{guasto}}}{\Delta t_{\text{funzionamento impianto}}} = \frac{45}{720} = 0.06$$

Bisogna considerare che tali valori sono comprensivi dei tempi di manutenzione, riparazione e blocco in quanto non è possibile discriminare la causa del messaggio di allarme e quindi del blocco. Per questo motivo non è stato possibile fare un confronto specifico con i valori misurati da altri impianti o disponibili in letteratura. Ciò nonostante tali valori risultano essere **estremamente rilevanti** e si traducono in un'**incapacità di accesso** a determinate locazioni del magazzino e in un **rallentamento** delle prestazioni in prelievo e stoccaggio.

### 4.3 – Inefficienze gestionali

Si sono individuate e classificate le possibili inefficienze gestionali. Non si sono trattate in modo puntuale le inefficienze dovute alle **logiche di stoccaggio e prelievo** in quanto verranno approfondite, all'interno del progetto in cui è inserita questa tesi, mediante lo sviluppo un simulatore dell'impianto.

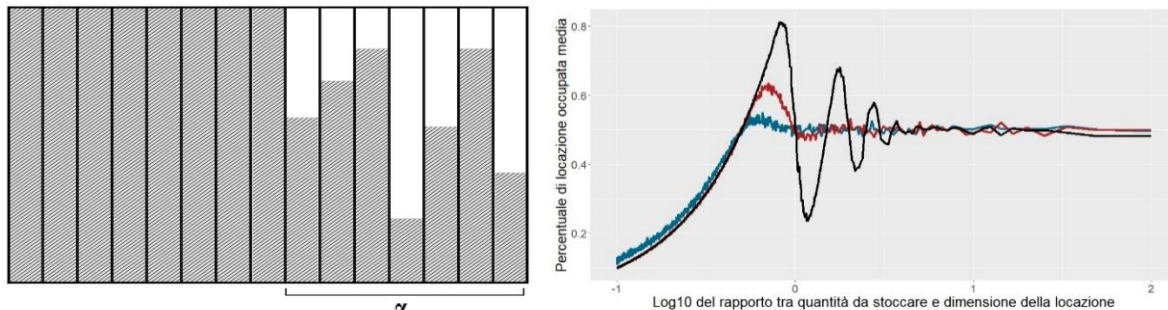
In particolare, un aspetto che si è scelto di analizzare è l'impatto del **numero di tipologie di articolo** ( $\alpha$ ) presenti all'interno del magazzino sul numero massimo di unità immagazzinabili e movimentabili. Tale variabile ha suscitato interesse in quanto, nonostante abbia un impatto potenzialmente discriminante nel livello massimo di prestazioni raggiungibili, sottolineata anche dagli operatori in magazzino, è stata poco considerata; inoltre non si è riusciti a trovarne una trattazione puntuale in letteratura scientifica che ha spinto a volerne dare una formulazione teorica.

Per una spiegazione approfondita delle ipotesi fatte e i procedimenti seguiti si rimanda al documento principale.

### Numero di unità immagazzinabili

Si vuole valutare l'impatto di  $\alpha$  sul numero massimo di unità immagazzinabili dall'impianto.

Si è creato un modello generico di un magazzino composto da  $t$  locazioni di capacità  $q$  e  $\alpha$  tipologie di articolo. Si è ipotizzato che si saturi completamente una locazione prima di iniziare a riempire la successiva. Si è quindi creata una formula che permettesse il calcolo dell'**efficienza di immagazzinamento** ( $\eta_{\text{utilizzo spazio}} = \frac{\text{spazio utilizzato nelle locazioni}}{\text{spazio disponibile nelle locazioni}}$ ) al variare di  $\alpha$  facendo l'ipotesi (verificata per il caso in esame) che il livello di occupazione delle locazioni semi-occupate tenda a  $q/2$ . Tale ipotesi è verificata se il valore il valore medio e la dv.st della quantità da stoccare sono sufficientemente grandi rispetto alla dimensione della locazione (Fig. 9).



(Fig. 8: Schema delle locazioni occupate o semi-occupate presenti in un magazzino (sinistra))  
 (Fig.9: Grafico della simulazione della percentuale di occupazione dei tunnel semivuoti al variare del rapporto tra la dimensione della locazione e la quantità da stoccare, per diversi valori della dv. st della quantità da stoccare.)

La formula seguente esprime l'andamento di  $\eta_{\text{utilizzo spazio}}$  in funzione di  $\alpha$  e  $t$  :

$$\eta_{\text{utilizzo spazio}} = \frac{\text{spazio utilizzato nelle locazioni}}{\text{spazio disponibile nelle locazioni}} = \frac{\alpha \frac{q}{2} + (n-\alpha)q}{t*q} = 1 - \frac{\alpha}{2t}$$

Si conclude che l'efficienza di utilizzo dello spazio ha un andamento lineare decrescente rispetto al numero di tipologie di articolo immagazzinate. Per  $\alpha \ll t$  si ha  $\eta_{\text{utilizzo spazio}} = 1$  mentre con  $\alpha = t$  si ha  $\eta_{\text{utilizzo spazio}} = 0.5$ . Tale fenomeno riduce considerevolmente il numero massimo di unità immagazzinabili dall'impianto anche in ipotesi di stoccaggio ottimale.

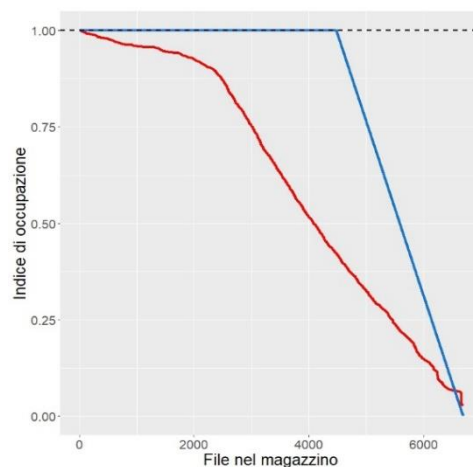
Si è valutato l'impatto di questo fenomeno in un magazzino che avesse gli stessi parametri di quello oggetto dello studio. Basandosi su un valore di 2210 diverse tipologie di articolo, misurato in data 19/06/2019, il valore di efficienza di utilizzo dello spazio prevista dal modello è di  $\eta_{\text{modello}} = 0.83$ . Ciò si traduce in una diminuzione di circa 50,000 unità della capacità massima del magazzino

Il valore reale di efficienza di utilizzo dello spazio per quella data risulta essere tuttavia  $\eta_{\text{reale}} = 0.60$ . Il grafico in Fig. 10 mostra il confronto della percentuale di utilizzo delle locazioni presenti in magazzino tra i valori previsti dal modello e i valori reali.

La curva rossa, rappresentante i dati reali risulta essere notevolmente inferiore rispetto la curva blu, rappresentante i dati previsti dal modello. Tale differenza è causata principalmente da due fattori:

- disomogeneità tra lunghezza dei tunnel e diametro dello pneumatico;
- politiche di stoccaggio e prelievo non ottimali.

che allontanano i valori reali da quelli teorici, calcolati in ipotesi di logica di stoccaggio ottimale.



(Fig. 10: Grafico del confronto tra valori dell'indice di occupazione reali (rossi) e teorici (blu) per ogni locazione presente nel magazzino)

Mediante l'utilizzo del modello sopracitato è quindi possibile **discriminare la perdita di efficienza** dovuta all'elevato numero di tipologie di articolo immagazzinate, inevitabile nel contesto considerato, rispetto alla perdita di efficienza causate da politiche di stoccaggio non ottimali.

Nell'attività lavorativa quotidiana l'impianto è considerato saturo quando non presenta più file libere (non accade mai che tutte le locazioni siano piene), in quanto si possono stoccare nuove tipologie di articolo. Si è scelto di valutare l'impatto di  $\alpha$  in termini di efficienza in quanto aumentare l'efficienza di utilizzo delle locazioni occupate risulta essere il metodo più efficace per aumentare il numero di unità immagazzinabili.

## Impatto del numero di tipologie di articolo sul rateo produttivo

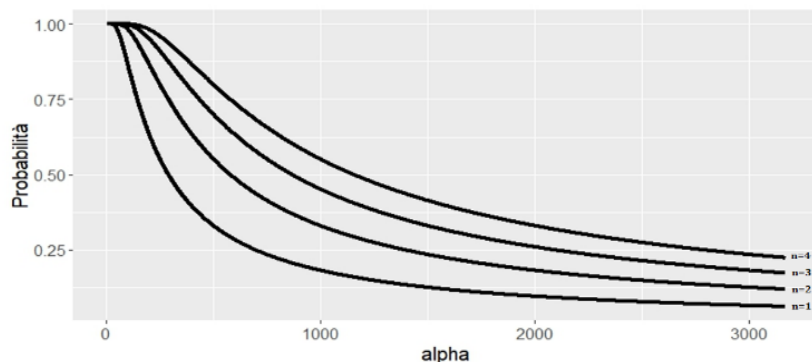
Si vuole valutare l'impatto di  $\alpha$  sulla probabilità di identificare una tipologia di articolo su una specifica porzione dell'impianto. Tale probabilità impatta sul **numero massimo di locazioni attivabili** in parallelo e di conseguenza sul rateo produttivo, rappresenta inoltre un indicatore del **livello di ridondanza** dell'impianto che permette l'evasione di un ordine anche in caso di guasto. È stato costruito un modello che permettesse di stimare in modo puntuale la probabilità  $p_p$  di **individuare una tipologia di articolo** in una determinata porzione di impianto al variare nel numero di tipologie di articolo immagazzinate. Nel caso di un prelievo di una singola tipologia di articolo  $j$ :

$$p_p = 1 - p_{\text{non individuare } j \text{ in nessuna locazione } i \text{ della porzione}} = 1 - (1 - p_i)^s = 1 - \left(1 - \frac{1}{\alpha}\right)^n$$

in cui  $p_i$  è la probabilità individuare  $j$  nella locazione  $i$  e  $s$  è il numero di locazioni presenti nella porzione di impianto considerata. Nel caso di un prelievo in contemporanea di  $n$  tipologie di articolo la probabilità di attivare la porzione di impianto è definita invece come:

$$p_{\text{attivare porzione } p} = 1 - \left(1 - \frac{1}{\alpha}\right)^{n \cdot s}$$

In cui  $n$  è il numero di tipologie di articolo da prelevare e  $s$  il numero di locazioni presenti nella porzione di impianto in esame. Tale formula consente di valutare l'impatto del numero di tipologie di articolo sul rateo produttivo in quanto ponendo  $s = 200$  cioè il numero di locazioni coperte da una singola navetta permette di calcolare la probabilità media di attivare la navetta al variare di  $\alpha$  e  $n$ . (Fig.9)



(Fig. 11: Grafico della probabilità di identificare una tipologia di articolo in una navetta al variare di  $\alpha$  e  $n$ )

Si è proceduto ad una validazione confrontando i valori previsti dal modello con i valori reali.

Supponendo di considerare i dati reali di magazzino misurati in data 19/06/2019 e un numero di tipologie di articolo prelevate in parallelo pari a 3 (stimato in funzione dei dati delle movimentazioni nel 2018) e un numero di tipologie di articolo pari a 2210 la probabilità di attivare una navetta:

$$p_{\text{attivare navetta } p} = 1 - \left( \left(1 - \frac{1}{2210}\right)^3 \right)^{200} = 0.24$$

Tale valore definisce un upper-bound sul rateo produttivo ideale che ci può aspettare dall'impianto in prelievo. È da sottolineare tuttavia che  $n = 3$ : è un valore stimato in quanto non è possibile definire il numero di tipologie di unità movimentate in parallelo mediante i dati attualmente registrati,  $n = 3$  non è una scelta esogena dell'azienda ma effetto generato dalle problematiche meccatroniche già trattate.

## 5 - Conclusioni

Le prestazioni del magazzino automatizzato di Scandicci di Univergomma Spa sono inferiori a quanto la direzione si aspettava. La capacità effettiva di immagazzinamento medio si attesta su un valore pari a circa un terzo di quanto definito nel progetto, arrivando solo in rari casi al 50%. Il rateo produttivo medio è di circa un settimo di quanto dichiarato nel progetto e nei picchi di attività supera lievemente un sesto.

Le intenzioni principali della direzione quando ha iniziato l'attività di miglioramento erano quelle di andare ad ottimizzare le componenti gestionali riguardanti le decisioni sulla distribuzione delle unità all'interno del magazzino e le logiche di prelievo e stoccaggio. Tali variabili sono altamente impattanti e verranno analizzate approfonditamente mediante lo sviluppo del simulatore.

L'elemento critico principale nel mancato raggiungimento delle performance previste, rilevato con le analisi effettuate, è da ricercarsi nello scarso livello di affidabilità della **componente meccatronica** del sistema che causa una perdita di efficienza e potrebbe inibire, in futuro, l'utilizzo di pratiche gestionali più complesse.

Tale criticità deriva, in parte da errori progettuali dovuti alla mancata considerazione delle specificità delle problematiche della movimentazione di pneumatici, e in parte da carenze in fase costruttiva del magazzino.

L'elemento su cui si ritiene si debba porre maggiore attenzione risulta essere l'insieme di scelte strategiche nel processo di acquisizione e gestione dell'impianto riguardo: sia la decisione di esternalizzare quasi totalmente il know-how su un asset fondamentale dell'azienda, sia la decisione di non dotarsi strumenti di monitoraggio adeguati.

Il **valore** di un impianto automatizzato rispetto ad una controparte manuale risiede, infatti, oltre nella diminuzione di tempi e costi, nelle **possibilità di tracciatura, reportistica e monitoraggio** dei dati. Monitorare l'andamento di tali dati nel tempo è un requisito imprescindibile per qualsiasi attività di ottimizzazione. Parafrasando le parole di William Thompson, Lord Kelvin, "se non lo puoi misurare, non lo puoi migliorare".

I **sistemi di reportistica** con cui si ha avuto modo di interfacciarsi si sono rivelati **incompleti** e riportanti spesso **valori incorretti** e, al momento, **non vengono utilizzati** dagli operatori in magazzino nelle fasi di pianificazione e controllo della produzione. Dotarsi di sistemi più appropriati e definire dei processi sistematici di analisi risulta essere l'attività più critica rilevata, preliminare a tutte le altre. Si è cercato nelle diverse riunioni avvenute con la direzione di promuovere la necessità di **dotarsi di strumenti di controllo e monitoraggio adeguati**.

I principali risultati raggiunti in questo progetto di tesi sono stati:

- la **rappresentazione** oggettiva delle **prestazioni** dell'impianto e del loro scostamento rispetto ai valori ideali e di progetto;
- la quantificazione dell'**impatto delle inefficienze meccatroniche** e l'individuazione del reparto navette come area di maggior criticità;
- la quantificazione dell'**impatto del numero di tipologie di articolo** sulle prestazioni dell'impianto sia in termini di unità immagazzinabili e movimentabili e la creazione di un modello generale per la valutazione dello stesso;
- un database riportante un **ranking** delle diverse tipologie di articolo per cui ha maggiormente senso utilizzare il magazzino automatizzato e una serie. Per motivi di sintesi questo elemento non è stato discusso in questo documento.