



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**

***Progettazione di un magazzino decentralizzato
in ambiente ETO: il caso Baker Hughes***

SINTESI

RELATORI

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

Dott.ssa Ketty Borroni
Baker Hughes

IL CANDIDATO

Clarissa Giuliani
c.giuliani3@studenti.unipi.it

Sessione di Laurea Magistrale del 27/09/2023

**Progettazione di un magazzino decentralizzato in ambiente ETO:
il caso Baker Hughes**
Clarissa Giuliani

Sommario

Questo lavoro di tesi è il risultato di un periodo di tirocinio svolto presso Baker Hughes, una multinazionale nel settore delle tecnologie energetiche. L'obiettivo del progetto è stata la progettazione di un magazzino decentralizzato a Massa per i componenti di assemblaggio dei compressori centrifughi. Tali componenti sono stati, fino ad ora, approvvigionati e stoccati a Firenze e successivamente trasferiti a Massa per la produzione, ma la significativa crescita dei volumi di vendita e la complessità di gestione hanno richiesto la presenza di un magazzino nelle vicinanze delle aree di produzione. Lo studio inizialmente ha riguardato la raccolta dati e l'analisi *As Is* dei flussi logistici e produttivi, in seguito il dimensionamento degli spazi di stoccaggio, la determinazione del *layout* ottimale del nuovo magazzino e i mezzi di movimentazione necessari, tenendo conto dei fabbisogni dei reparti e dei vincoli strutturali di stabilimento. I principali benefici derivanti dalla progettazione sono la riduzione del *lead time* di attraversamento, indicatore cruciale per una azienda che produce in modalità *Engineer To Order*, e la riduzione dei costi di trasporto Firenze-Massa. Questa iniziativa, inoltre, è rilevante poiché sposa il tema della sostenibilità ambientale riducendo le emissioni di CO₂.

Abstract

This thesis work is the result of my internship at Baker Hughes, an energy technology company. The aim of the project was to design a decentralised warehouse in Massa for the components used to assemble the centrifugal compressors. So far, such components have been sourced and stored in Florence, then relocated to Massa, but, due to a substantial rise in the sales volumes and a complex management, the production areas needed to have a warehouse located nearby. The project started with the data collection and an analysis of the *As Is* state of the logistics and production flows; later on, the project focussed on the size of the storage areas, the definition of an optimal layout for the new warehouse and the requisite number of handling equipment, in the light of the departments' requirements and the plant's structural constraints. The main advantages provided by such design are a reduction in the lead time, which is a crucial indicator for a company that works in Engineer to Order mode, and the reduction of the shipping costs from Florence to Massa. In addition, the impact of such initiative is extremely important, as it embraces sustainability by reducing CO₂ emissions.

1. Introduzione e contesto di riferimento

In Italia Baker Hughes opera attraverso Nuovo Pignone S.r.l., una delle realtà industriali di maggiore rilievo a livello nazionale in ambito energetico che conta diversi siti produttivi. Nello specifico, lo stabilimento di Firenze e Massa costituiscono due centri di eccellenza per la produzione di compressori alternativi, assiali e centrifughi e di turbine a gas e a vapore. A Massa sono realizzate turbomacchine di dimensioni maggiori (*large size*) rispetto a Firenze. Il lavoro di tesi, inserito all'interno della divisione *Assembly* dell'area *Manufacturing*, riguarda la progettazione di un nuovo magazzino decentralizzato e coinvolge la famiglia di prodotto dei compressori centrifughi (CC) *large size*, suddivisi in due linee di modelli (BCL e MCL). Il campo di applicazione di queste macchine è molto variegato dal settore petrolchimico e delle raffinerie, ad applicazioni industriali, al *Pipeline and Gas Processing* e quello del Gas Naturale Liquefatto (GNL). La produzione avviene su commessa, con caratteristiche del prodotto che mutano sulla base delle specifiche richieste dei clienti. I compressori centrifughi, infatti, sono classificati internamente come prodotti *custom* ossia richiedono un alto grado di ingegnerizzazione secondo una modalità di risposta al cliente di tipo *Engineer To Order* (ETO). Tale ambiente è caratterizzato da:

- Elevata complessità, associabile al grado di personalizzazione richiesto;
- Dinamismo, corrispondente al grado di variabilità delle specifiche e dei fattori in gioco.

Una produzione ETO, inoltre, comporta costi più elevati rispetto alla produzione in serie, una maggiore esposizione ai rischi e un incremento dei tempi di evasione dell'ordine.

2. Individuazione del problema e obiettivi di progetto

Nel modello di business *Engineer To Order* i *lead time* (soprattutto quelli di produzione e di attraversamento interno) sono determinanti per garantire il rispetto delle consegne contrattuali ai clienti e mantenere un efficace livello di servizio. La logistica *inbound* tra i vari *plant* diviene quindi un fattore strategico su cui porre l'attenzione. In questo contesto, la scelta del posizionamento del magazzino è di vitale importanza per un efficace ed efficiente asservimento ai reparti di produzione. Una scelta accurata può ridurre i tempi di produzione, minimizzare gli sprechi e ottimizzare l'utilizzo delle risorse. Fino ad oggi, la scelta strategica è stata quella di sfruttare un unico magazzino centrale componenti a Firenze per rifornire i reparti di assemblaggio di Firenze e Massa. Quest'ultimo è servito bisettimanalmente tramite "navette" (termine usato in azienda per indicare un autoarticolato). Questa decisione è stata dettata dal fatto che, storicamente, questo tipo di produzione è sempre stata su Firenze

spostando poi, all'occorrenza, alcune commesse su Massa in caso di *overcapacity* o di strategie interne di livellamento della produzione. L'idea di dedicare un'area di stoccaggio a Massa per i componenti di assemblaggio è stata suggerita da alcuni nuovi fattori di contesto interni ed esterni, quali il *trend* in crescita dei volumi di vendita, le normative sempre più stringenti sui trasporti e gli investimenti su *capacity* e *capability* dello stabilimento di Massa per la linea di produzione dei compressori. In una prima fase di ambientamento in azienda sono state comprese le inefficienze dovute alla presenza di un unico magazzino centralizzato:

- Rigidità nella programmazione delle navette ed extra costi di trasporto per viaggi addizionali nel caso di componenti mancanti e/o per le attrezzature in condivisione con altri reparti;
- Elevata saturazione del magazzino di Firenze, ulteriormente aggravata dalla presenza di *item* che non subiscono alcuna trasformazione poiché destinati a Massa;
- Impatto ambientale dei trasporti in termini di emissioni di CO₂;
- Ripetitività delle attività logistiche di entrata, ricezione e prelievo tra i due *plant*;
- Incongruenza informativa tra lo stabilimento a sistema e dove effettivamente la macchina è assemblata.

L'obiettivo del progetto è stato quindi quello di progettare un nuovo magazzino decentralizzato a Massa per i componenti dei compressori centrifughi *large size* che non subiscono alcun tipo di trasformazione a Firenze poiché non attraversano lo *shop floor*. Questo macro-obiettivo può essere ulteriormente scomposto in sotto-obiettivi classificati in primari e secondari. In Fig. 1 è raffigurato il *deployment* degli obiettivi. Il lavoro di modellazione del magazzino è stato condotto seguendo i criteri di progettazione dei sistemi industriali di stoccaggio, consultando la teoria di Impianti Industriali soprattutto la parte di *Lean Manufacturing* e *Lean Logistics*, e seguendo i principi di Logistica Integrata e *Supply Chain*.

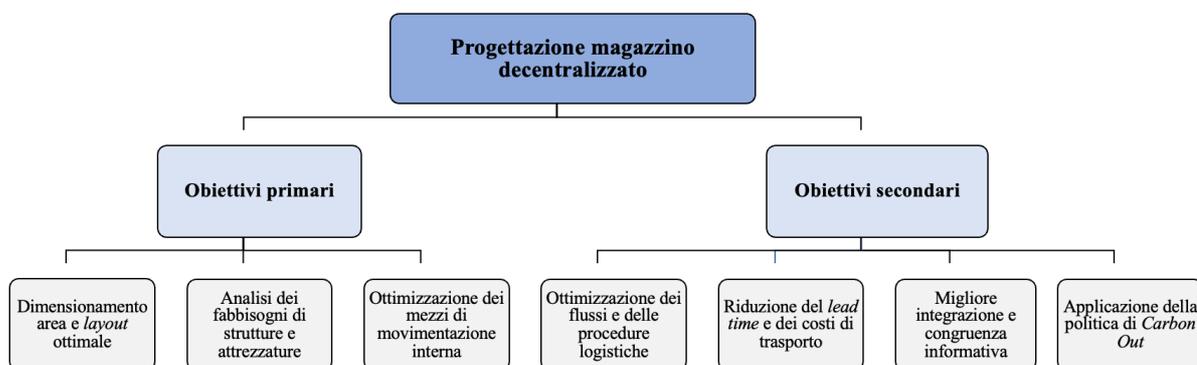


Figura 1 - Deployment degli obiettivi

Il perimetro (*scope*) di progetto è all'interno di una macro-iniziativa di miglioramento (Kaizen) promossa all'interno della divisione *Assembly Custom Products* dalla funzione trasversale *Continuous Improvement* che prevede anche l'incremento del numero di postazioni fisse di assemblaggio e il potenziamento delle capacità di *testing* del prodotto finito. Questi progetti sono partiti per volontà dei vertici aziendali che avevano quindi già definito lo scopo e l'entità del lavoro da svolgere.

3. Metodologia

Il progetto ha seguito una metodologia rigorosa, riportata in Fig. 2, costituita da un insieme di step ben definiti e strutturati in cui l'*output* di una singola attività funge da *input* per l'attività successiva. Le tre fasi principali che hanno previsto attivamente il mio coinvolgimento sono:

1. Raccolta dati;
2. Elaborazione dati;
3. Progettazione del magazzino.



Figura 2 – Schema della metodologia di progetto

3.1 Raccolta dati

La raccolta dati è una delle fasi principali del progetto di tesi ed è stata incentrata sulla estrapolazione delle informazioni a sistema e sull'analisi *As Is*. Questa è stata svolta grazie all'iniziale affiancamento del *team* di progetto e degli *owner* dei dati che hanno illustrato come estrarre le informazioni dai vari applicativi impiegati in azienda. I dati sono stati raccolti per l'intervallo temporale Gennaio 2020 - Maggio 2023, attingendo da diverse fonti quali il sistema ERP aziendale e *software* di uso diffuso all'interno della *Supply Chain*. Il punto di partenza è stato lo studio dei cicli di lavorazione. L'apertura e la chiusura di ciascun ciclo scandisce non soltanto la sequenza delle operazioni ma anche la richiesta dei materiali e il loro conseguente trasferimento interno ed *interplant*. I dati raccolti sono stati raggruppati in quattro tipologie:

- Dati di pianificazione: storico delle commesse passate e piani di produzione futuri;

- Dati ingegneristici: tempi ciclo, distinte base dei componenti e delle attrezzature;
- Dati logistici: transazioni di ogni singolo *item*, dati di *packaging* e spedizione;
- Dati strutturali: *layout* dei due stabilimenti, strutture e disponibilità di *asset*.

L'estrazione delle commesse future ha permesso di comprendere la distribuzione del carico di lavoro mensile per i CC. Le distinte base hanno consentito di analizzare nel dettaglio i componenti, distinguendo tra *buy* e *make*. Le transazioni hanno ripercorso gli spostamenti di un singolo *item* fino alla sua ultima ubicazione. L'analisi della struttura del magazzino di Firenze ha permesso di capire la modalità di stoccaggio dei vari *item* e di svolgere *benchmarking* in ottica di futura progettazione. La raccolta dei mezzi di movimentazione interna di Massa e dei loro dati di targa, invece, ha influenzato il dimensionamento degli spazi.

3.2 Elaborazione dati

Durante la fase di elaborazione dati sono state strutturate l'insieme delle informazioni raccolte sino ad ora, così da poter essere più facilmente visualizzate e interpretate per la futura progettazione. Tale attività ha previsto la creazione di diagrammi di flusso al fine di comprendere la natura dei processi produttivi e logistici. In particolare, sono stati mappati i flussi produttivi dei CC *large size* di Massa con indicazione dei cicli di lavorazione nei reparti e negli stabilimenti di interesse. Un importante dettaglio emerso è che i cicli in blu, in Fig. 3, interessano esclusivamente lo stabilimento di Firenze.

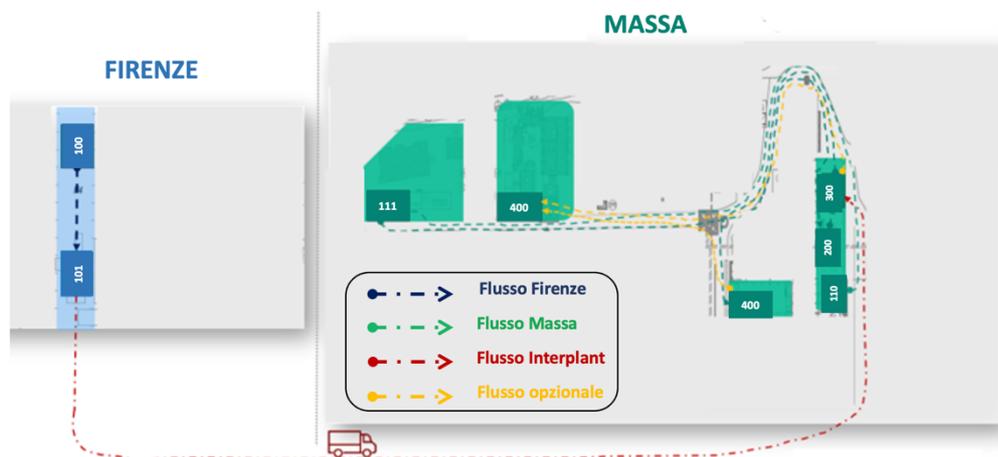


Figura 3 - Flussi produttivi CC large size

In Fig. 4 di pagina successiva vi sono le movimentazioni dei componenti, sia *make* che *buy*, nel caso *As Is* con distinzione all'interno di *swimlane* degli attori coinvolti, interni ed esterni all'organizzazione (PREP è un reparto di preparazione del materiale per assemblaggio e spedizione). I blocchi blu si riferiscono a merce approvvigionata dal fornitore (tipo *buy*), quelli viola a componenti prodotti internamente (tipo *make*) a Firenze e i *make* di Massa in giallo.

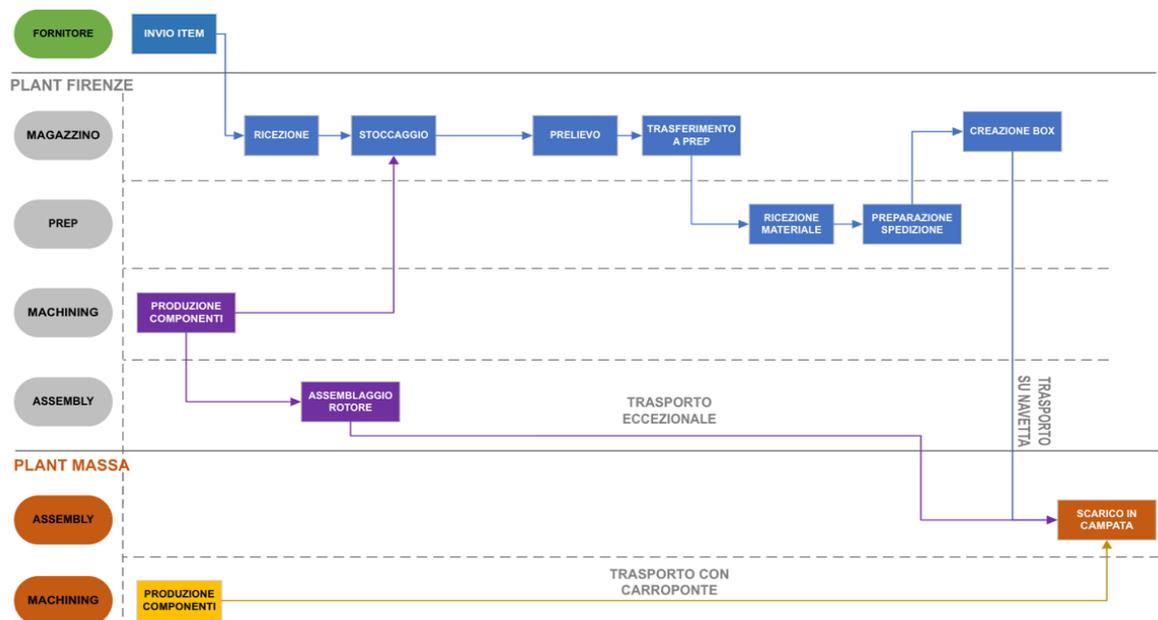


Figura 4 - Flussi logistici componenti buy e make

A seguito dell'elaborazione dati è stato possibile concludere che il perimetro di lavoro riguarderà soltanto i componenti con due peculiarità: 1) appartengono ai cicli di Massa (sono esclusi i cicli di Firenze di assemblaggio rotore); 2) sono classificati come *buy* poiché non subiscono trasformazioni all'interno dello stabilimento di Firenze ma sono solo stoccati e poi trasferiti. L'elaborazione ha inoltre previsto la creazione di un *database* logistico chiamato *Plan For Every Part* (PFEP). Il PFEP creato è composto da cinque differenti sezioni (Fig. 5).

- *General Item Data*: informazioni anagrafiche (codice *item*, tipologia, categoria ecc.);
- *Assembly Data*: dettagli sull'assemblaggio (quantità richieste, ciclo, ecc.);
- *Storage Data*: dati logistici di magazzino (vano, unità di carico, tempo medio di stoccaggio, ecc.);
- *Shipping Data*: informazioni sulle spedizioni (imballo, dimensioni, peso, ecc.);
- *Supplier Data*: informazioni sui fornitori (nome, tempo e frequenza di consegna, ecc.)



Figura 5 - Struttura interna PFEP

In ottica *Lean Logistics*, una metodologia per la progettazione di un sistema di logistica interna si basa principalmente sul concetto di *Plan For Every Part*. Infatti, uno dei principali vantaggi offerti da questa struttura è la possibilità di avere un maggiore controllo e tracciabilità delle attrezzature e dei componenti utilizzati nei processi produttivi.

3.3 Progettazione del magazzino

La fase di modellazione è stata condotta secondo una sequenza di attività ben definita e strutturata, riportata in Fig. 6.



Figura 6 - Fasi di progettazione

3.3.1 Analisi della potenzialità ricettiva

Il primo punto ha riguardato la valutazione della potenzialità ricettiva, indicatore della quantità ideale di unità di carico (udc) che deve essere stoccata, per i componenti e le attrezzature di due tipologie di compressori (BCL ed MCL). Per ciascun modello è stato calcolato il fabbisogno sulla base dei volumi futuri di vendita e quindi di produzione in termini di udc e il loro relativo ingombro. Il calcolo, in Fig. 7 di pagina successiva, è stato condotto partendo dal PFEP integrando i dati strutturali raccolti; per una maggiore standardizzazione le modalità di stoccaggio sono state raggruppate in quattro tipologie di udc (euro pallet, pallet non standard, area a terra e cassettiere). In particolare, per i valori classificati con "N.D." non è stato possibile identificare l'ultima locazione e di conseguenza stabilire correttamente il numero di udc e i metri quadri richiesti. È stata quindi fatta una stima conservativa equiparandoli ad un'area a terra. Infine, la potenzialità ricettiva complessiva è derivata dalla somma delle udc richieste per ciascuna tipologia di modello moltiplicata per un coefficiente di sicurezza. I dati sotto riportati sono stati moltiplicati per un fattore correttivo poiché non è possibile fornire indicazioni precise per motivi di confidenzialità.

CALCOLO DELLA POTENZIALITA' RICETTIVA COMPONENTI E ATTREZZATURE				BCL	MCL	POTENZIALITA' RICETTIVA
UDC TO-BE	MODALITA' STOCCAGGIO AS-IS	U.M.	TOT	TOT	TOTALE POSTI EUROPALLET	
EURO-PALLET	Pallet singolo item	NR	102,00	85,00	363	
	Pallet multi item	NR	102,00	74,00		
TOTALE POSTI EUROPALLET			204,00	159,00	TOTALE METRI QUADRI POSTI EUROPALLET	
					348,48	
PALLET NON STANDARD	Pallet non standard	NR	15,00	21,00	TOTALE POSTI PALLET NON STD	
	Area a terra scaffalabili	NR	12,00	24,00	96,00	
	Area a terra piccole dimensioni	NR	12,00	12,00	TOTALE METRI QUADRI POSTI PALLET NON STD	
TOTALE POSTI PALLET NON STD			39,00	57,00	138,24	
AREA A TERRA	Area a terra	MQ	38,88	30,24	TOTALE METRI QUADRI AREE A TERRA	
	N.D.	MQ	21,60	43,20	133,92	
TOTALE MQ AREE A TERRA			60,48	73,44		
CASSETTIERA	Cassettiere	NR	96,00	59,00	TOTALE NUMERO CASSETTIERE	
					155	

Figura 7 - Potenzialità ricettiva richiesta

3.3.2 Studio delle possibili alternative

Nota la potenzialità ricettiva, lo studio è stato incentrato sulla ricerca di un'area a Massa da adibire allo stoccaggio dei componenti. Le alternative pensate sono state due:

1. Spostare gli *item slow moving* che si trovano nel magazzino al coperto di Massa;
2. Liberare l'area di un fabbricato vicino al magazzino e progettare al suo interno una nuova disposizione.

Lo studio è partito dalla prima proposta con focus sui cosiddetti *slow moving* (SMI), materiali con basso indice di rotazione che costituiscono un costo di immobilizzo. Dall'analisi è emerso che i fabbisogni di spazio non possono essere soddisfatti ubicando altrove gli SMI. È stata quindi valutata la seconda alternativa con progettazione dell'area di stoccaggio e determinazione dei mezzi di movimentazione interna.

3.3.3 Progettazione dell'area di stoccaggio

Il terzo step ha riguardato la vera e propria progettazione dell'area di stoccaggio, ulteriormente suddivisa in: dimensionamento della superficie di stoccaggio, determinazione del *layout* ottimale e scelta della modalità di allocazione.

È stato scelto di progettare un magazzino a scaffalatura porta pallet tradizionale all'interno del quale prevedere scaffalature standard per euro pallet e scaffalature *over size* per pallet non standard. Per ciascuna di queste due tipologie di scaffali è stata valutata la dimensione del vano di stoccaggio, il modulo unitario, il numero di livelli di stoccaggio, il coefficiente di utilizzo superficiale, l'area operativa di stoccaggio e confrontata la potenzialità ricettiva effettiva rispetto a quella di progetto. L'analisi è poi proseguita dimensionando gli spazi per la

minuteria all'interno di cassettiere e prevedendo lo spazio sufficiente per il posizionamento nell'area a terra dei pallet non scaffalabili a causa del loro peso. Sono stati successivamente realizzati su AutoCAD due tipologie di *layout* (longitudinale e trasversale) considerando i vincoli strutturali e di sicurezza, la metratura delle varie aree, i disimpegni ed i corridoi di accesso e stivaggio. Nella pianta del magazzino è stata anche prevista una zona di *picking* per la sosta momentanea dei colli appena prelevati, un'area di entrata e uscita merci e un'area per la ricarica dei muletti elettrici. La scelta è ricaduta sulla configurazione trasversale poiché, avendo un unico corridoio di accesso, a parità di area di stoccaggio a scaffale, ha consentito di ottenere un'area a terra di dimensioni sufficienti rispetto a quanto richiesto da progetto. Noto il *layout* del magazzino, sono stati stabiliti i criteri di allocazione. Nel caso delle scaffalature, i componenti sono stati raggruppati in categorie (es. flange, termoelementi ecc.) e calcolata l'incidenza dei prelievi di ciascuna categoria sul totale delle movimentazioni all'anno. Lo scopo è stato quello di svolgere un'analisi ABC, basata sul noto principio di Pareto, così da suddividere le famiglie di prodotto in tre classi. La curva cumulata dell'incidenza delle movimentazioni che ne è derivata ha permesso di individuare tre classi distinte come riportato in Fig. 8.

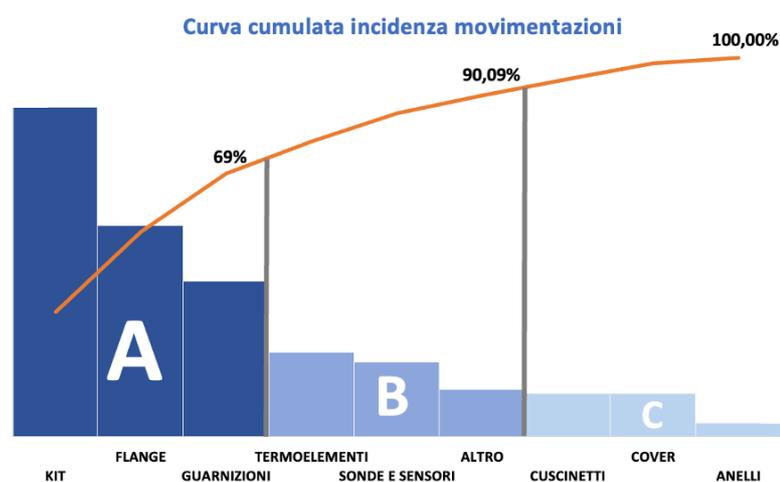


Figura 8 - Curva cumulata incidenza movimentazioni

La scelta degli spazi è quindi avvenuta secondo una modalità per classi, preferendo nella scelta delle ubicazioni prima le referenze A poi B e infine C ma raggruppando per famiglie. Per l'area a terra e per le cassette si è invece optato per una allocazione casuale.

3.3.4 Determinazione del numero di mezzi di movimentazione

Il quarto e ultimo step è stato quello di determinare il numero e la tipologia di mezzi di movimentazione interna tali da soddisfare la potenzialità di movimentazione (in udc al giorno) di progetto. Il primo passo riguarda il calcolo dei tempi di ciclo semplice di prelievo e di

deposito. Questi sono costituiti da una componente variabile che riguarda la traslazione orizzontale o verticale dei carrelli, e da una componente fissa per posizionamenti, lettura delle informazioni, ecc. indipendente dalla ubicazione delle udc. Dal momento che i tempi variabili dipendono dalla disposizione delle udc, è stata realizzata una matrice “*From To Chart*” delle distanze. Rapportando le distanze percorse alle velocità del carrello sono stati calcolati i tempi. Nota la potenzialità di movimentazione richiesta e stimata quella effettiva, sulla base dei tempi ciclo, è stato possibile determinare il numero di carrelli frontali e retrattili.

4. Risultati di progetto

L’evidenza principale come *output* del caso di studio è la modellazione del nuovo *layout* per il magazzino componenti di Massa scomposto in moduli, ovvero le unità geometriche elementari che consentono di riprodurre la pianta del magazzino. La progettazione del magazzino ha prodotto una serie di risultati determinanti per la risoluzione dei problemi individuati nel capitolo 2. La spedizione diretta dei componenti *buy* e il loro successivo stoccaggio nel magazzino di Massa comporterà l’eliminazione di parte delle navette da Firenze per il trasporto di questi *item* come mostrato in Fig. 9.

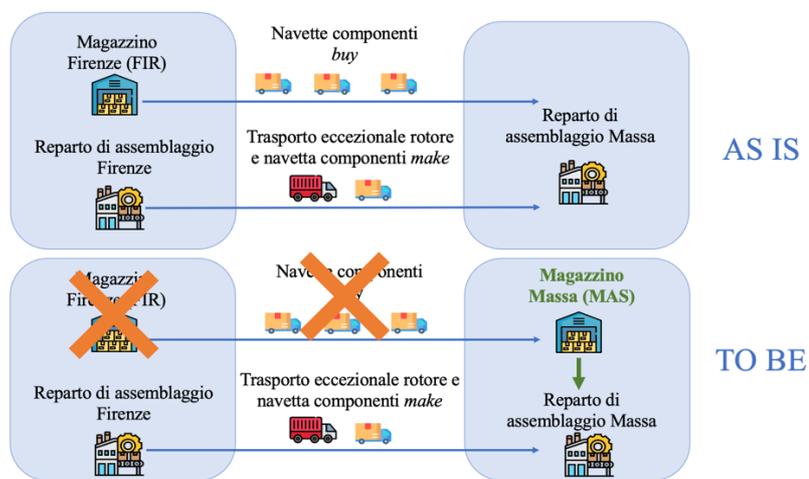


Figura 9 - Viaggi interplant

I vantaggi derivanti dalla situazione *To Be* concorrono al raggiungimento degli obiettivi secondari di progetto e sono quantificabili in termini di:

- Riduzione delle emissioni di CO₂;
- Minori costi di gestione delle navette;
- Decremento del *lead time* (LT) di attraversamento interno.

Per gli ultimi due è stata calcolata la riduzione percentuale confrontando la situazione *As Is* rispetto al *To Be*. Sono opportune due precisazioni: i costi di gestione delle navette comprendono non soltanto i trasporti ma anche i costi di realizzazione degli imballi spediti e

quelli di carico del mezzo sino alla sua saturazione per peso; il LT di attraversamento è inteso come il tempo che intercorre tra l'arrivo del mezzo con i prodotti approvvigionati dal fornitore e il momento in cui questi sono in reparto pronti per l'uso. In Fig. 10 il riepilogo dei risultati.

TIPOLOGIA	SAVINGS WORST CASE	SAVINGS BEST CASE
Costi gestione navetta	~ 68,18%	
Lead time di attraversamento	~ 19,15%	~ 25,85%
Emissioni CO2	~ 19 tonnellate	~ 24 tonnellate

Figura 10 - Analisi dei savings

Infine, la metodologia di progettazione strutturata applicata potrà essere replicata in futuro, se necessario, per analisi ed eventuali *relayout* degli attuali magazzini esistenti. Allo stesso modo la creazione di una struttura dati come il *database Plan For Every Part* è uno strumento utile per sistematizzare e monitorare il flusso logistico degli *item* anche in un'ottica estesa oltre i confini del progetto.

5. Conclusioni e sviluppi futuri

La scelta strategica di decentralizzazione del magazzino ha consentito di disporre di un'area di stoccaggio dedicata nelle vicinanze dei reparti di produzione contribuendo al miglioramento delle performance aziendali. Il progetto ha impattato direttamente su alcuni KPI logistici (riduzione dei tempi e costi di gestione navette) oltre a perseguire la politica aziendale di *Carbon Out* (riduzione delle emissioni). In ottica di ottimizzazione del flusso informativo i prossimi step riguarderanno la risoluzione delle incongruenze tra lo stabilimento a cui nascono "agganciate" le commesse a sistema e il reale luogo dove vengono realizzate. È in corso, da parte di un *team* inter-funzionale, l'analisi per l'attivazione di questo processo. Per quanto concerne il flusso fisico, invece, il progetto apre un importante scenario futuro riguardo la possibilità di realizzare un reparto PREP a Massa, come a Firenze, per la gestione degli *item*. Questo costituirebbe un punto di disaccoppiamento tra il magazzino e il reparto di assemblaggio, predisponendo il materiale e le attrezzature prima del loro utilizzo. Data la grande quantità di codici da gestire, una preparazione anticipata dei kit di *item* per ciclo contribuirebbe ulteriormente alla riduzione dei tempi, eliminando attività non a valore aggiunto quali la ricerca e l'individuazione del materiale. In conclusione, il seguente lavoro di tesi ha permesso di mostrare come l'azienda, secondo un approccio proattivo, ha risposto ai cambiamenti del contesto esterno (incremento dei volumi di vendita e limiti di trasportabilità sempre più rigidi) focalizzandosi sulla logistica interna.