Collegio di Ingegneria Gestionale
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale – Classe LM-31
Tesi di Laurea di II livello

Packaging Aftermarket: Ottimizzazione tra Qualità ed Efficienza nel caso IVECO

Relatore:
Maurizio Galetto

Candidato:
Letizia Massimi

Anno Accademico 2025-2026

Sommario

Introduzione 4
Capitolo 1 – Contesto aziendale e logistico 7
1.1 Il gruppo Iveco 7
Overview azienda 7
Portafoglio prodotti e veicoli iconici della gamma 8
Posizionamento nel settore 9
1.2 La logistica aftermarket 12
Ruolo 12
Caratteristiche principali 13
Criticità e sfide operative 13
1.3 Il Parts Logistic Centre di San Mauro Torinese 14
Centralizzazione del packaging e motivazioni strategiche 14
Capitolo 2 – Il processo di packaging 16
2.1 Obiettivi del packaging 16
2.2 Tipologie di imballo utilizzate 17
Imballi Primari 17
Sistemi di Bloccaggio e Protezione Interna (*Inner Packaging*) 18
Sistemi di Protezione Anticorrosiva e Ambientale 19
Grafiche, marcatura e Brand Protection 19
2.3 Il team Packaging Methods & Work Analysis 20
Packaging Methods 20
Work Analysis 25
Continuous improvement 29
Capitolo 3 - Qualità e protezione del prodotto: progetto di abbattimento delle Claim 31
3.1 AS IS 31
Configurazione del Packaging Originario 31
Analisi Storica e Costo delle Claims 36
Analisi FMEA ex-post e avvio del progetto Kaizen 38
3.2 TO BE 39
Ingegnerizzazione del Nuovo Inner Pack in Poliuretano Espanso 39
Valutazione di Fattibilità Economica 41
Validazione di Fattibilità Tecnica: Lo Shock Test 43
3.3 Analisi dei risultati e valutazioni economiche 46
Monitoraggio dei Claim Post-Implementazione 46
ROI del progetto 47

Criticità, Trade-off Operativi e Benefici di Stoccaggio Logistico 48
Capitolo 4 - Progetto Supply Chain: Ottimizzazione Volumetrica e Flussi di Filiera 51
4.1 Introduzione e Razionale Strategico del Progetto 51
Analisi FMEA ex-post e avvio del progetto Kaizen 55
4.2 Il Modello di Selezione: Criteri e Matrice 56
4.3 Industrializzazione del Processo: Validazione Tecnica e Gestione dello Stock Transitorio 60
Blocco Ingressi a Sistema e Validazione Fisica in Linea 60
Strategia di Decadimento dello Stock e Collaborazione con i Depot 61
4.3 Analisi degli Impatti nei Nodi della Supply Chain 62
Benefici nel Polo di Confezionamento di San Mauro (Inbound Process) 62
Benefici nei Magazzini di Distribuzione IVECO (Outbound Process) 65
4.4 Bilancio Economico Differenziale e Consuntivazione dei Benefici 66
Impatto Economico Diretto nel Polo di San Mauro (Materiali e Manodopera) 66
Benefici di Processo nei Magazzini di Distribuzione IVECO (Tempo di Picking) 67
L'Impatto delle Attività Straordinarie di Sconfezionamento 67
Trade-off per il Management e Sintesi del Modello Finanziario 68
Estratto Applicativo del Modello di Calcolo ed Evidenze dei Risultati 68
Sostenibilità Ambientale: L'Impatto in Ottica Green Logistics 70
Capitolo 5 - Progetto Efficienza di Linea: Studio dei Tempi e Metodi di Confezionamento 72
5.1 AS IS 72
Configurazione del Packaging originario 72
Tempi Ciclo Originari e Analisi delle Inefficienze 73
Analisi FMEA ex-post e avvio del progetto Kaizen 75
5.2 TO BE 76
Ingegnerizzazione del Nuovo Inner Pack 76
Analisi dei Nuovi Tempi e Rilievi Cronometrici 78
5.3 Analisi dei risultati e valutazioni economiche 79
Incremento della Capacità Produttiva 79
Impatto in ottica Green Logistics: Ecodesign e semplificazione del fine vita 80
Benefici Intangibili: Ergonomia, Sicurezza e Standard Work 81
Capitolo 6 - Conclusioni 85
Bibliografia 89

Introduzione

Nel moderno scenario macroeconomico, la competitività delle aziende manifatturiere non dipende solamente dalla capacità di innovazione e dalla qualità del prodotto offerto ai clienti, ma anche dai servizi che ne accompagnano l'utilizzo nel tempo. Nel comparto dei veicoli industriali e commerciali, il baricentro strategico della redditività a lungo termine e della fidelizzazione del cliente si è progressivamente spostato verso il mercato del post-vendita: l'aftermarket. Per operatori professionali, aziende di trasporto e municipalità, i veicoli rappresentano asset produttivi primari il cui costo è strettamente legato alla continuità operativa; in questo contesto, ogni frazione di tempo di inattività indotta da un guasto meccanico si traduce in perdite finanziarie dirette dovute a mancati ricavi e penalità logistiche. La logistica aftermarket assume pertanto un ruolo cruciale, configurandosi come una struttura multilivello complessa che deve garantire la disponibilità immediata e capillare di decine di migliaia di referenze su scala internazionale, operando in condizioni di domanda frammentata, volatile e a bassa prevedibilità.

All'interno di questo network distributivo globale, l'ingegnerizzazione del packaging industriale rappresenta un nodo fondamentale e un'estensione diretta della qualità del prodotto, superando la visione tradizionale che lo declassava a mero centro di costo o a contenitore passivo. La progettazione dell'imballaggio risponde a una complessa logica multi-obiettivo che deve bilanciare contemporaneamente l'Ingegneria della Qualità (annullamento dei danni da trasporto), l'Efficienza dei Processi Logistici (saturazione volumetrica delle unità di carico e dei flussi di trasporto) e l'Ergonomia delle Operations in linea di confezionamento, minimizzando il Total Logistics Cost di filiera.

Il presente lavoro di tesi magistrale descrive l'attività di ricerca, riprogettazione e industrializzazione condotta presso il Parts Logistic Centre (PLC) di IVECO Group a San Mauro Torinese, hub centrale dedicato alla standardizzazione e al confezionamento dei ricambi destinati alla rete distributiva mondiale. L'innesco della ricerca si colloca all'interno del percorso di digitalizzazione e standardizzazione avviato dallo stabilimento, integrando i rigidi pilastri metodologici del World Class Manufacturing (WCM) e le logiche di Continuous Improvement (Kaizen) per analizzare e superare i limiti operativi delle baseline storiche di imballaggio.

Il nucleo applicativo e sperimentale dell'elaborato si articola attorno a tre progetti pilota, ciascuno focalizzato su una specifica classe merceologica e orientato alla risoluzione di un trade-off critico della catena del valore:

1. Progetto Qualità e Protezione del Prodotto (Kit Mozzo Ruota): incentrato sulla risoluzione delle non-conformità qualitative (market claims) generate dalle gravose sollecitazioni meccaniche nei trasporti espressi. Attraverso lo smantellamento del vecchio imballo in pluriball e lo sviluppo di un inner pack millimetrico personalizzato in poliuretano espanso, validato tecnicamente tramite protocolli sperimentali di Shock Test (ISTA 1A), il progetto dimostra come i costi della non-qualità possano essere convertiti in valore protettivo strutturale, raggiungendo il pareggio finanziario.
2. Progetto Supply Chain e Ottimizzazione Volumetrica (Minuteria Meccanica): rivolto alla gestione della Classe C logistica, storicamente penalizzata da un'inefficiente gestione "monopezzo". Mediante lo sviluppo di un algoritmo decisionale basato su vincoli economici, fisici e statistici, il progetto industrializza il passaggio a Pack Quantity multiple standardizzate. Questo intervento ha permesso di mitigare l'intensità di manodopera nei magazzini periferici e di generare un massiccio beneficio ecologico, riducendo radicalmente il consumo di plastica in ottica di Green Logistics.
3. Progetto Efficienza di Linea e Studio dei Tempi (Specchi Retrovisori): focalizzato prettamente sulla produttività delle postazioni e sulla riduzione del costo di manodopera diretta (Direct Labor Cost). Sfruttando la metodologia dei tempi predeterminati MTM (Methods-Time Measurement) e i principi della Motion Economy, il processo basato su profili estrusi Polybar e carta protettiva è stato sostituito dalla tecnologia di Retention Packaging a sviluppo orizzontale. Il progetto ha consentito una drastica compressione del tempo ciclo unitario, un incremento della densità di pallettizzazione e un radicale miglioramento dell'ergonomia posturale della cella di lavoro, azzerando al contempo i rischi di infortunio da taglio.

L'architettura complessiva dell'elaborato è strutturata per dimostrare come questi tre progetti pilota, per quanto focalizzati su classi merceologiche distanti e ambiti operativi apparentemente disomogenei, non costituiscano interventi frammentati o risposte estemporanee a singole criticità. Al contrario, essi rappresentano espressioni sinergiche e

complementari di un'unica strategia integrata che persegue il medesimo obiettivo aziendale: l'applicazione rigorosa del miglioramento continuo secondo i principi guida del WCM adottati stabilmente all'interno di IVECO Group.

L'ingegnerizzazione dell'imballo industriale viene così elevata da semplice elemento di consumo a pilastro metodologico per la gestione olistica della catena del valore. Ciascun intervento, pur muovendosi su leve differenti, concorre al medesimo efficientamento sistemico del Parts Logistic Centre di San Mauro Torinese. La risoluzione dei claim qualitativi sul mozzo ruota, l'ottimizzazione dei lotti di minuteria per comprimere i tempi di filiera e la ristrutturazione ergonomica della postazione degli specchi retrovisori rispondono alla stessa logica industriale: dimostrare che è possibile generare competitività economica e stabilità dei costi riducendo drasticamente gli sprechi (Muda), decarbonizzando i flussi fisici in ottica di Green Logistics e garantendo la massima tutela della salute e della sicurezza della forza lavoro in linea.

Capitolo 1 – Contesto aziendale e logistico

1.1 Il gruppo Iveco

Overview azienda

Iveco Group rappresenta uno dei principali attori a livello globale nel settore dei veicoli industriali e commerciali, operando attraverso una rete internazionale che si estende in Europa, Asia, Africa, Oceania e America Latina.

La nascita di IVECO risale al 1975, anno in cui la fusione di cinque storiche aziende europee del comparto automotive — Fiat Veicoli Industriali, OM (Officine Meccaniche), Lancia Veicoli Speciali, Unic e Magirus-Deutz — ha permesso di unire oltre 150 anni di esperienza ingegneristica e attitudine all'innovazione. Attraverso questo consolidamento e una progressiva internazionalizzazione, l'azienda ha sviluppato un portafoglio prodotti ampio, diversificato e sinergico [1].

Attualmente, l'offerta commerciale del Gruppo è declinata attraverso quattro marchi globali, ognuno specializzato in uno specifico segmento della mobilità e dei servizi correlati:

- IVECO, focalizzato sui veicoli commerciali leggeri, medi e pesanti;
- IVECO BUS e HEULIEZ, dedicati rispettivamente agli autobus di linea/gran turismo e alle soluzioni di mobilità urbana collettiva sostenibile;
- FPT Industrial, specializzato nella progettazione e produzione di motori, trasmissioni e sistemi di propulsione d'avanguardia;
- IVECO CAPITAL, la divisione finanziaria a supporto della rete commerciale.

Il Gruppo opera in oltre 160 paesi, potendo contare su una rete produttiva e commerciale estremamente capillare (Figura 1) che comprende stabilimenti produttivi, centri di ricerca e sviluppo e hub logistici distribuiti su scala globale.



Figura 1 Rete capillare Iveco Group

Un elemento fortemente distintivo di Iveco Group è l'orientamento verso l'innovazione tecnologica e la sostenibilità ambientale. L'azienda investe in modo sistematico nello sviluppo di motorizzazioni alternative, tra cui l'elettrico, l'idrogeno e il gas naturale (LNG/CNG), posizionandosi in anticipo rispetto alle sfide della transizione energetica. IVECO al momento rappresenta, infatti, uno dei pochissimi costruttori globali in grado di offrire la tecnologia del gas naturale capillarmente su tutta la propria gamma di veicoli leggeri, medi e pesanti.

Portafoglio prodotti e veicoli iconici della gamma

Al fine di comprendere la complessità operativa e la varietà merceologica che caratterizzano la gestione dei ricambi aftermarket, è opportuno mappare i principali veicoli iconici che hanno decretato il successo commerciale del marchio IVECO nel mondo. La gamma si articola principalmente su tre segmenti:

1. Segmento Leggero - IVECO Daily (Figura 2): Rappresenta uno dei veicoli commerciali più famosi e longevi d'Europa. Caratterizzato da una struttura a telaio portante derivata dai camion, il Daily offre doti di robustezza uniche nel suo segmento. La sua gestione aftermarket implica una straordinaria varietà di varianti di carrozzeria e componenti di minuteria e finitura.



Figura 2 IVECO Daily

2. Segmento Medio - IVECO Eurocargo (Figura 2): Veicolo di riferimento per la distribuzione urbana e i servizi municipali. La sua flessibilità allestitiva comporta la gestione logistica di ricambi meccanici e componentistica elettrica/elettronica ad alta rotazione.



Figura 3 IVECO Eurocargo

3. Segmento Pesante - IVECO S-Way / T-Way (Figura 3): Costituisce la punta di diamante per il trasporto pesante stradale a lungo raggio e le missioni off-road. Questi giganti della strada montano componenti dalle geometrie complesse e pesanti, i quali richiedono flussi di confezionamento e standard di protezione di massima severità ingegneristica per preservarne l'integrità durante le spedizioni internazionali.



Figura 4 IVECO S-Way / T-Way

Posizionamento nel settore

SWOT Analisys

Al fine di analizzare in modo strutturato il posizionamento competitivo del gruppo è possibile ricorrere all'analisi SWOT (Grafico 1), che consente di sintetizzare i principali punti di forza e debolezza interni, e le opportunità e minacce derivanti dal contesto esterno [2] .



Grafico 1 SWOT Analysis Iveco Group

Tra i principali punti di forza emerge la capacità dell'azienda di offrire una gamma completa di veicoli commerciali, che consente di coprire differenti segmenti di mercato e tipologie di missione. A ciò si affianca un elevato grado di integrazione verticale, che permette un maggiore controllo lungo la catena del valore, dalla progettazione fino ai servizi post-vendita. In questo contesto, la presenza di una rete aftermarket strutturata rappresenta un elemento distintivo, in quanto consente di estendere il valore offerto al cliente lungo l'intero ciclo di vita del prodotto, aumentando il livello di servizio e la fidelizzazione. Un ulteriore elemento di forza è rappresentato dalla leadership nelle tecnologie a gas naturale, che permette all'azienda di posizionarsi in anticipo rispetto alle dinamiche della transizione energetica.

Parallelamente, l'analisi evidenzia alcune criticità, tra cui una scala dimensionale inferiore rispetto ai principali competitor globali e una forte concentrazione nel mercato europeo, che può aumentare l'esposizione a dinamiche economiche regionali. Dal punto di vista operativo, emerge inoltre una significativa complessità nella gestione dell'aftermarket, caratterizzata da un'elevata varietà di codici ricambio e da una domanda frammentata e difficilmente prevedibile.

Il contesto esterno offre importanti opportunità, legate in particolare alla crescente domanda di soluzioni di trasporto sostenibili e allo sviluppo di tecnologie alternative. In particolare, la crescente attenzione ai servizi post-vendita e alla gestione del ciclo di vita del veicolo rappresenta una leva strategica per lo sviluppo del business aftermarket, che consente di generare valore continuativo nel tempo. In questo ambito, la digitalizzazione

della supply chain e dei processi logistici offre ulteriori margini di miglioramento in termini di efficienza, tracciabilità e livello di servizio.

Tra le principali minacce si evidenziano l'elevata competitività del settore, l'incertezza tecnologica legata alla transizione energetica e la crescente pressione normativa, che richiede continui investimenti e capacità di adattamento. In tale contesto, la capacità di garantire servizi efficienti e tempestivi lungo l'intero ciclo di vita del veicolo diventa un elemento differenziante sempre più rilevante.

Si conferma pertanto un elemento chiave del vantaggio competitivo di IVECO la gestione dell'aftermarket: l'insieme dei servizi di assistenza, manutenzione e fornitura ricambi che incide direttamente sulla continuità operativa dei clienti, in particolare nel trasporto professionale.

In questo scenario, la logistica dei ricambi assume un ruolo fortemente strategico nel garantire tempi di consegna rapidi e massima disponibilità dei componenti. Di conseguenza, l'efficienza delle attività operative, supportata da strutture dedicate come i PLC e da processi chiave come il packaging, risulta fondamentale per elevare la qualità del servizio, creare valore e sostenere il posizionamento competitivo dell'azienda.

Value Chain di Porter

Per comprendere nel dettaglio come IVECO Group genera valore lungo la propria filiera è utile rappresentare le principali attività aziendali attraverso il modello della catena del valore di Porter (Grafico 2) [3].

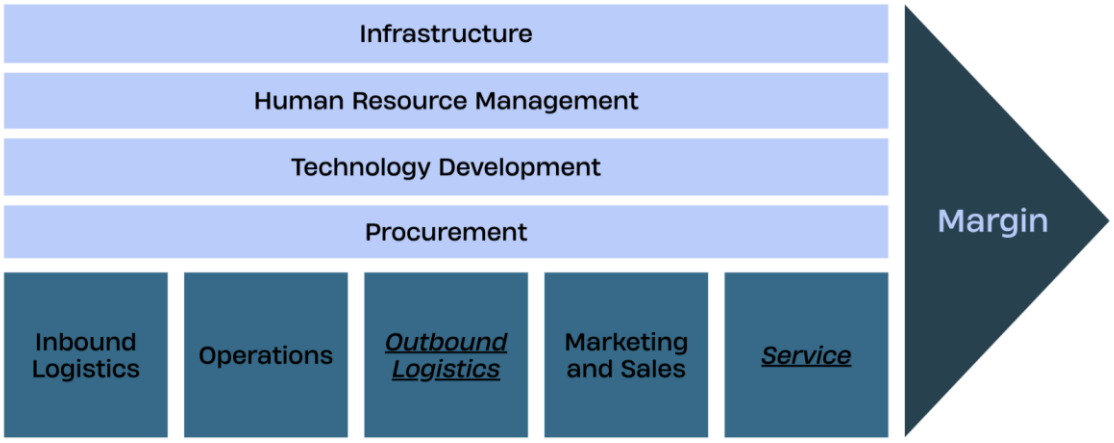


Grafico 2 Porter Value Chain Iveco Group

Le attività primarie comprendono la gestione degli approvvigionamenti (inbound logistics), i processi produttivi (operations) e le attività di distribuzione (outbound logistics), fino alle attività di marketing e vendita e ai servizi post-vendita.

Tali attività sono supportate da processi trasversali, tra cui il procurement, che garantisce l'approvvigionamento efficiente dei materiali, lo sviluppo tecnologico, che include l'innovazione nei sistemi di propulsione e nella digitalizzazione della supply chain, e la gestione delle risorse umane, fondamentale per assicurare competenze tecniche e operative. Infine, l'infrastruttura aziendale, comprensiva dei sistemi informativi e delle attività di pianificazione e controllo, consente il coordinamento efficace delle diverse funzioni aziendali.

In questo contesto, la capacità di integrazione tra attività primarie e di supporto risulta determinante per garantire efficienza operativa e qualità del servizio.

In particolare, le fasi di outbound logistics e after-sales service assumono un ruolo centrale, in quanto includono la gestione dei ricambi e dei servizi di assistenza lungo tutto il ciclo di vita del veicolo e rappresentano un elemento chiave nella creazione del valore aziendale.

1.2 La logistica aftermarket

Ruolo

La logistica aftermarket comprende l'insieme delle attività legate alla gestione, stoccaggio e distribuzione dei ricambi e dei servizi post-vendita lungo l'intero ciclo di vita del prodotto.

Nel settore dei veicoli industriali, essa assume un ruolo particolarmente rilevante rispetto ad altri comparti, come quello delle autovetture private. A differenza di queste ultime, infatti, camion e veicoli commerciali rappresentano asset ad elevato valore economico, con costi che possono raggiungere diverse centinaia di migliaia di euro. Di conseguenza, in caso di guasti o usura dei componenti, la sostituzione dei singoli ricambi risulta generalmente più conveniente rispetto alla sostituzione dell'intero veicolo.

Inoltre, tali mezzi sono direttamente impiegati in attività produttive e di trasporto e costituiscono strumenti essenziali per il business degli operatori. Eventuali periodi di fermo comportano perdite economiche significative, legate a mancati ricavi, ritardi nelle

consegne e inefficienze operative. Ogni giorno di inattività può quindi incidere direttamente sulla redditività dell'azienda utilizzatrice.

In questo contesto, la disponibilità immediata e capillare dei ricambi rappresenta un fattore critico di successo. La capacità di garantire tempi di risposta rapidi e un elevato livello di servizio nella distribuzione dei ricambi risulta quindi fondamentale per minimizzare i tempi di fermo e assicurare la continuità operativa dei clienti.

Nel caso del gruppo, la logistica aftermarket rappresenta pertanto un elemento chiave del modello di business, in quanto supporta una rete globale di officine e concessionari, assicurando la disponibilità dei ricambi su scala internazionale.

Caratteristiche principali

La logistica della ricambi presenta caratteristiche distintive che la differenziano significativamente dalla logistica produttiva tradizionale, rendendola un ambito particolarmente complesso dal punto di vista gestionale.

In primo luogo, essa è caratterizzata da un'elevata varietà di codici, a fronte di volumi generalmente contenuti per singolo articolo. Questo implica la gestione di un numero molto elevato di referenze, spesso con rotazioni basse e distribuzione della domanda non uniforme. La domanda dei ricambi risulta difficilmente prevedibile, in quanto dipende da fattori quali l'utilizzo del veicolo, le condizioni di esercizio e il verificarsi di guasti o interventi manutentivi. Tale variabilità rende complessa la pianificazione delle scorte.

La distribuzione dei ricambi avviene attraverso una rete logistica articolata e multilivello, che collega centri logistici centrali, hub regionali e punti di assistenza locali. In molti casi, le consegne devono essere effettuate in tempi molto brevi, secondo logiche di *next-day delivery* o anche *same-day*, aumentando ulteriormente la complessità operativa.

Criticità e sfide operative

Le caratteristiche sopra descritte determinano una serie di sfide che rendono la logistica aftermarket un ambito altamente critico dal punto di vista gestionale.

Un aspetto particolarmente critico è rappresentato dal compromesso tra livello di servizio e costi logistici: da un lato è necessario garantire elevata disponibilità e rapidità di consegna, dall'altro è fondamentale contenere i costi legati allo stoccaggio e alla gestione operativa.

La gestione di un elevato numero di codici richiede processi operativi altamente efficienti, in grado di assicurare rapidità nelle attività di picking, preparazione degli ordini e spedizione.

In tale contesto, anche il packaging assume un ruolo rilevante, in quanto deve garantire la protezione del ricambio, l'ottimizzazione degli spazi e la facilità di movimentazione, contribuendo direttamente all'efficienza complessiva del sistema logistico.

1.3 Il Parts Logistic Centre di San Mauro Torinese

Centralizzazione del packaging e motivazioni strategiche

Un elemento distintivo dell'organizzazione di questa logistica in IVECO è rappresentato dalla quasi totale centralizzazione delle attività di packaging presso il Parts Logistic Centre di San Mauro Torinese, introdotta nel 2021 con l'obiettivo di migliorare l'efficienza e il controllo dei processi.

Tale scelta risponde a diverse esigenze di carattere gestionale e operativo. In primo luogo, la centralizzazione ha consentito di sviluppare un elevato livello di know-how specifico, concentrando competenze tecniche e operative in un unico punto della supply chain. Questo ha favorito una maggiore specializzazione delle risorse e un miglioramento continuo delle metodologie di imballaggio.

Inoltre, la gestione accentrata del packaging ha permesso di introdurre standard comuni, uniformando i criteri di imballaggio per le diverse tipologie di ricambio. Ciò ha contribuito a ridurre la variabilità degli imballi consegnata ai clienti, garantendo maggiore coerenza e qualità lungo l'intero processo.

Un ulteriore vantaggio è rappresentato dalla possibilità di ottimizzare le soluzioni di packaging, sia in termini di protezione del prodotto sia di saturazione degli spazi. L'adozione di logiche condivise consente infatti di migliorare l'efficienza nello stoccaggio e nel trasporto, con impatti positivi sui costi logistici.

La centralizzazione consente inoltre un maggiore controllo del processo, permettendo di monitorare e migliorare continuamente le prestazioni, ridurre errori operativi e garantire il rispetto degli standard qualitativi richiesti.

In questo modello, i ricambi vengono ricevuti dai fornitori privi di imballo definitivo e sottoposti alle operazioni di packaging direttamente presso il PLC, prima di essere trasferiti al magazzino centrale di Torino e successivamente distribuiti ai diversi depot a livello globale (Grafico 3).



Grafico 3 Flusso Logistico Aftermarket Iveco

La scelta di centralizzare il packaging rappresenta quindi non solo una questione organizzativa, ma una leva strategica per migliorare l'efficienza della supply chain aftermarket e garantire un elevato livello di servizio al cliente finale.

Capitolo 2 – Il processo di packaging

2.1 Obiettivi del packaging

Nel contesto della logistica dei ricambi di IVECO Group, come già sottolineato, il packaging non deve essere inteso come un mero elemento di costo o un semplice contenitore protettivo, bensì come un vero e proprio vettore strategico di valore e un'estensione della qualità del prodotto. La progettazione dell'imballaggio industriale risponde a una logica multi-obiettivo che deve bilanciare requisiti tecnici, economici e operativi lungo tutta la supply chain. I principali obiettivi perseguiti sono:

1. Protezione e Conservazione del Valore (Qualità): i ricambi automotive presentano un'elevata eterogeneità metallurgica e geometrica. L'obiettivo primario è preservare l'integrità del componente contro le sollecitazioni meccaniche (urti, vibrazioni, compressioni) e gli agenti ambientali (umidità, ossidazione) tipici dei trasporti e dello stoccaggio prolungato nei depot mondiali.
2. Ottimizzazione dei Costi (Efficienza Economica): la progettazione mira a contenere l'impatto economico del packaging (materiali e manodopera) al di sotto dei benchmark aziendali, minimizzando al contempo il Total Logistics Cost attraverso la riduzione dei volumi spediti e l'eliminazione dei costi legati alla non-qualità (claims e resi).
3. Ergonomia e Sicurezza (Work Analysis): l'imballo deve essere ingegnerizzato per garantire la massima sicurezza sia per l'operatore di linea a San Mauro che esegue il confezionamento, sia per gli addetti alla movimentazione nei magazzini a valle, rispettando i limiti di carico biomeccanico e le normative sulla sicurezza sul lavoro.
4. Saturazione ed Efficienza di Filiera (Handling e Picking): il packaging definisce l'Unità di Carico (UdC) minima. Una corretta saturazione volumetrica evita lo stoccaggio e il trasporto di "aria", ottimizzando gli spazi a scaffale e riducendo il numero di transazioni e movimentazioni necessarie nelle fasi di prelievo nei magazzini distributivi.

2.2 Tipologie di imballo utilizzate

Al fine di gestire l'elevata variabilità merceologica, il PLC di San Mauro Torinese adotta un portafoglio di soluzioni di packaging razionalizzato ma estremamente flessibile [4]. I materiali vengono selezionati dal team Metodi combinando vincoli tecnici (peso, geometria, stabilità), vincoli economici (il costo del packaging deve rigorosamente assestarsi al di sotto 5% del valore del componente) e vincoli di sostenibilità ambientale.

Le soluzioni utilizzate si articolano in imballi primari, cioè quelli esterni, e sistemi di protezione interna, inner packaging:

Imballi Primari

- Scatole in cartone ondulato**:** il PLC ha standardizzato un parco di circa 160 codici scatola, ingegnerizzati attraverso diverse combinazioni di onde, in base alle performance richieste in termini di resistenza alla compressione verticale (BCT - *Box Compression Test*) e portata strutturale (Figura 5). Nello specifico vengono utilizzate:
    - *Onda singola (es. onda E):* per componenti leggeri e confezionamenti di piccole dimensioni.
    - *Doppia onda (es. combinazione BC):* per particolari di medio peso che richiedono un'ottima resistenza agli urti.
    - *Tripla onda:* impiegata come imballo strutturale pesante, capace di sopportare carichi elevati e sostituire in alcuni casi l'imballo in legno.
- Casse in legno: sebbene presentino un costo industriale superiore rispetto ad altre soluzioni di imballaggio, garantiscono il massimo livello di rigidezza strutturale e protezione per componenti particolarmente pesanti, fragili o volumetricamente complessi. In alcuni casi, il loro utilizzo risulta indispensabile per assicurare l'integrità del prodotto durante le fasi di movimentazione e trasporto, anche qualora l'incidenza del costo del packaging superi i livelli generalmente prefissati.
- Buste in materiale plastico (PE): destinate alla minuteria leggera e a particolari a bassissimo rischio di danneggiamento meccanico. In ottica di Green Logistics, queste buste sono realizzate in polietilene contenente una percentuale significativa di plastica riciclata.

- Astucci in cartoncino teso (Chipboard): Questa categoria rappresenta una via di mezzo strategica tra la busta e la scatola in cartone ondulato. Viene selezionata per particolari leggeri ma geometricamente complessi o fragili che, se inseriti in una semplice busta di plastica, presenterebbero un rischio di danneggiamento non accettabile per gli standard qualitativi aziendali.



Figura 5 Tipologie packaging IVECO

Sistemi di Bloccaggio e Protezione Interna (*Inner Packaging*)

La progettazione dell'interno dell'imballo è cruciale per garantire l'integrità del ricambio durante la movimentazione e i trasporti. Il principio ingegneristico cardine è l'annullamento dei gradi di libertà del pezzo. Un componente non perfettamente vincolato può accumulare energia cinetica durante i transiti; le decelerazioni e gli urti del trasporto trasformerebbero tale energia in forze d'impatto interne capaci di distruggere l'imballo e danneggiare il ricambio stesso.

Per evitare questo fenomeno e assorbire gli urti, il team Metodi prevede l'utilizzo combinato di:

- Travetti e cunei di bloccaggio**:** elementi in legno utilizzati per creare un vincolo geometrico rigido tra il pezzo e le pareti della cassa/scatola, forzando il componente a rimanere solidale con l'imballo esterno.
- Sistemi di riempimento e avvolgimento: utilizzati per saturare i volumi vuoti e ammortizzare le vibrazioni. Il PLC adotta soluzioni eco-sostenibili come la carta preformata, la Ranpak, la carta da avvolgimento, la Wrapping paper e il film a bolle d'aria, il Pluriball, quest'ultimo parzialmente composto da polimeri rigenerati da post-consumo.

Sistemi di Protezione Anticorrosiva e Ambientale

Per i particolari metallici privi di verniciatura o trattamenti superficiali, esposti al rischio di ossidazione e corrosione durante lo stoccaggio e i trasporti marittimi, vengono integrati sistemi barriera chimico-fisici:

- Tecnologia VCI (Volatile Corrosion Inhibitor): utilizzata sotto forma di carta VCI o sacchetti/buste plastiche additivate. Il principio attivo VCI sublima costantemente all'interno dell'imballo sigillato, creando un microfilm protettivo invisibile a livello molecolare sulla superficie del metallo che ne impedisce l'ossidazione senza richiedere oliatura manuale, facilitando così il lavoro delle officine a valle.
- Sacchetti disidratanti (Sali igroscopici): inseriti all'interno dell'imballo per assorbire l'umidità residua dell'aria ed evitare il fenomeno della condensa all'interno del packaging chiuso.

Grafiche, marcatura e Brand Protection

La veste grafica esterna e la marcatura dei contenitori industriali non assolvono a una mera funzione estetica, ma costituiscono un pilastro dell'Ingegneria della Qualità e della gestione dei flussi nella rete aftermarket globale di Iveco Group. In primo luogo, il layout coordinato e i loghi ufficiali fungono da fondamentale strumento di Brand Protection: l'imballo originale si configura come un vero e proprio sigillo di autenticità che contrasta il mercato dei ricambi contraffatti, certificando il superamento dei severi controlli qualitativi aziendali e rassicurando il cliente finale sulla conformità del pezzo (Figura 6).

Al contempo, una volta che il packaging esce dal PLC, la grafica diventa l'unico vettore di comunicazione tecnica capace di superare ogni barriera linguistica lungo la supply chain internazionale. Attraverso l'integrazione sui cartoni della simbologia internazionale standardizzata regolata dalle normative ISO 780 [4], come i pittogrammi per l'orientamento del carico, la fragilità o la protezione dall'umidità, il team Metodi vincola e istruisce visivamente gli operatori logistici di tutto il mondo sulle corrette modalità di movimentazione e stoccaggio. Questo approccio previene in modo proattivo i danneggiamenti da shock meccanico, compressioni errate o esposizione ad agenti atmosferici avversi durante i trasporti transoceanici.



Figura 6 Esempio Box Catalogo IVECO GROUP 2021

2.3 Il team Packaging Methods & Work Analysis

Il reparto Packaging Methods & Work Analysis dello stabilimento IVECO di San Mauro Torinese detiene la responsabilità strategica e operativa di ingegnerizzare, testare e standardizzare l'architettura d'imballo di ogni singolo codice ricambio prima della sua immissione nei flussi delle linee di confezionamento. Questo processo integrato persegue un duplice obiettivo, speculare alle due anime del team: da un lato, garantire la migliore protezione fisica e ottimizzazione volumetrica del componente (competenza del sotto-team Methods); dall'altro, massimizzare l'efficienza dei movimenti erogati dall'operatore, riducendo i tempi di ciclo e saturando correttamente la manodopera (competenza del sotto-team Work Analysis).

Packaging Methods

Il processo operativo previsto segue una procedura rigorosa che trasforma il componente sfuso in ingresso in un'Unità di Carico tracciata, protetta e standardizzata a sistema.

Il flusso di definizione del packaging si articola in cinque fasi sequenziali (Grafico 4):



Grafico 4 Flusso processo definizione packaging

- Rilevamento Dimensionale e Analisi Merceologica: i pezzi arrivano in stabilimento e vengono inizialmente processati all'Inbound per le attività di accettazione delle merci. Dopo essere stati smistati, il sistema informativo verifica la presenza dei dati anagrafici del ricambio. Se il pezzo non ha ancora un ciclo di confezionamento associato e un PDF illustrativo, il flusso standard si interrompe. Questa condizione si può verificare se il Part Number non è mai passato nel polo logistico o se è stato bloccato per un qualsiasi motivo, come l'avvio di un progetto di miglioramento, un controllo delle misure o altre esigenze di natura qualitativa e tecnica. In questi casi, il codice viene intercettato e portato all'area Metodi. Qui l'analista procede al rilievo fisico del pezzo, eseguendo la misurazione accurata delle quote geometriche d'ingombro (lunghezza, larghezza, altezza) e la pesatura per determinarne la massa netta. Parallelamente, viene condotta un'analisi merceologica per identificare la natura del materiale, la presenza di superfici delicate e la vulnerabilità ad agenti esterni (es. metalli nudi sensibili all'ossidazione).
- Modellazione sul DSS Aziendale e Ottimizzazione Volumetrica: i dati fisici raccolti vengono inseriti all'interno di un Decision Support System (DSS) (Figura 7) interno sviluppato su piattaforma Excel. L'algoritmo del tool incrocia i dati geometrici e di peso con parametri gestionali complessi. Il file elabora i coefficienti di saturazione del volume interno dei contenitori standard disponibili a parco anche in base a quelle che sono le portate strutturali e di carico dei materiali. L'obiettivo del tool è garantire la massima densità di carico minimizzando lo spazio vuoto e l'impiego di materiali e rispettando il vincolo economico del budget aziendale.

Figura 7 Decision Support System

DATI DEL PARTICOLARE		Packtype	Brand	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Altezza (mm)	Peso unitario (kg)	volume (dm3)
		CG	IVE	324	324	138	9.300	14,487
Famiglia	Tipo materiale	Ossidaz.	Dettagli del prodotto		Pack Quantity	STD Cost (euro)	Area	peso confez. (gr)
Disco freno	Ghisa	Protezione VC			1		SMALL	9.300

Cont_1	Pack Type	Cont_2	Inner	Label_1	Label_2	Qtà Clos_2	Preserve
	CG	-				-	

CERCA IMBALLO

RESET

CERCA CICLO STD

Ripristina FILTRI

	AB	PB	AP	PL	PH	CP	CG	CH	CB	WP	WB
ANALISI PACK TYPE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dimensioni	OK	OK	OK	OK	-	-	OK	-	OK	-	OK
Peso	-	-	-	OK	OK	-	OK	OK	-	-	-
Famiglia	-	-	-	-	-	-	OK	OK	OK	-	OK
Tipo materiale	-	-	-	-	-	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Ossidazione	OK	OK	OK	-	-	OK	OK	OK	OK	-	OK
Dettaglio Prodotto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
STD Cost (euro)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



Aux	Description		Packty	Brand	Internal Length	Internal Width	Internal Height	Weight limit (gr)	Check imballo Ok/NO	Saturazione imballo %	Categ. Comm Tecn	CONT.1 + CONT.2 (COST
84107279	COR BX, IVG, F0201, 454x364x304, 2W		CG	IVE	454	364	304	21.000	OK	23%	SM+AUTO	1,07
84107286	COR BX, IVG, F0201, 393x393x152, 2W		CG	IVE	393	393	152	65.000	OK	62%	SM+AUTO	0,70
84107287	COR BX, IVG, F0201, 400x400x200, 2W		CG	IVE	400	400	200	24.000	OK	45%	SM+AUTO	0,70
84107288	COR BX, IVG, F0201, 365x365x163, 2W		CG	IVE	365	365	163	23.500	OK	67%	SM+AUTO	0,56
84107292	COR BX, IVG, F0201, 410x410x265, 2W		CG	IVE	410	410	265	0	OK	33%	SM+AUTO	2,39
84107308	COR BX, IVG, F0201, 586x386x272, 2W		CG	IVE	586	386	272	25.000	OK	24%	SM+AUTO	1,41
84107312	COR BX, IVG, F0201, 550x550x300, 2W		CG	IVE	550	550	300	23.400	OK	16%	MANUAL	1,62
84107320	COR BX, IVG, F0201, 660x500x210, 2W		CG	IVE	660	500	210	20.000	OK	21%	SEMI ONLY	2,52
84107328	COR BX, IVG, F0201, 900x550x150, 2W		CG	IVE	900	550	150	25.000	OK	20%	MANUAL	2,79
84107372	COR BX, IVG, F0201, 384x330x151, 2W		CG	IVE	384	330	151	30.000	OK	76%	SM+AUTO	0,75
84107420	COR BX, IVG, F0201, 542x457x350, 2W		CG	IVE	542	457	350	0	OK	17%	SM+AUTO	2,57
84107422	COR BX, IVG, F0201, 680x360x250, 2W		CG	IVE	680	360	250	12.000	OK	24%	SEMI ONLY	1,44
84107587	COR BX, IVG, F0201, 390x370x170, 2W		CG	IVE	390	370	170	27.000	OK	53%	SM+AUTO	2,04
84107722	COR BX, IVG, F0201, 429x429x220, 2W (7298 no fascia)		CG	IVE	429	429	220	17.000	OK	36%	SM+AUTO	1,97
84107737	COR BX, IVG, F0201, 579x579x180, 2W (7504 no fascia)		CG	IVE	579	579	180	30.000	OK	24%	MANUAL	2,60

- Validazione Fisica e Integrazione dei Protettivi: una volta ottenuta la configurazione teorica dal file Excel, l'analista passa alla fase di prova concreta sul campo. Il componente viene inserito fisicamente all'interno del contenitore campionato per verificarne il reale accoppiamento geometrico. In questa sede si valuta l'eventuale accumulo di energia cinetica: per annullare i gradi di libertà del pezzo, l'analista stabilisce l'inserimento di elementi di bloccaggio (travetti o cunei) e di sistemi di riempimento (Ranpak o Pluriball). Inoltre, è proprio in questa fase pratica che l'analista deve valutare la vulnerabilità del ricambio e decidere l'eventuale integrazione di buste o carte protettive con tecnologia VCI e l'aggiunta di sacchetti di sali igroscopici per i pezzi a rischio ossidazione.
- Creazione del Ciclo e Configurazione della Distinta Base (BOM): validata la struttura fisica dell'imballo, la soluzione ingegneristica viene tradotta in dati informatici per la contabilità industriale. L'analista accede al sistema gestionale aziendale per associare il ciclo di confezionamento e la relativa BOM, al codice del ricambio (Figura 8). In ottica di massima standardizzazione e pulizia anagrafica del sistema, uno stesso identico ciclo può essere associato a più Part Number diversi: qualsiasi pezzo richieda gli stessi precisi ausiliari (il codice esatto della scatola, la metratura del nastro adesivo, i metri di carta da riempimento, il numero di sacchetti o carta VCI e il codice etichetta) nelle medesime quantità sfrutterà la medesima codifica di ciclo a sistema, legandone i consumi di materiale al costo industriale del ricambio.



Figura 8 Creazione BOM su Gestionale Click

- Digitalizzazione dello Standard Work e Rilascio in Linea: l'atto conclusivo della procedura è la creazione del supporto visivo necessario per la produzione. Utilizzando un template preimpostato, il team metodi redige una scheda tecnica in formato PDF (Figura 9). All'interno di questo documento vengono digitate le descrizioni sequenziali dei passaggi operativi e inserite le fotografie esplicative scattate durante la prova concreta di imballo. Il file PDF viene infine collegato in modo permanente al Part Number all'interno del sistema gestionale interno. In questo modo, quando quel determinato codice arriva in lavorazione sulla linea di confezionamento, il sistema richiama automaticamente il file, mostrando sui monitor delle postazioni l'istruzione visiva esatta. I blu collar possono così visualizzare e leggere in tempo reale come posizionare, proteggere e sigillare il pezzo secondo lo standard approvato.

IVECO • GROUP | SPECIFICHE DI CONFEZIONAMENTO | Ente: Metodi

Codice Particolare:	Codice Confezione	Descrizione Particolare	Area/Postazione	Data emissione	Scheda
503612277	84107271	DISCO FRENO	PACKAGING	06/02/2026	DS_8256_2026

DPI | Strumenti | Note

N. Operaz.	Descrizione Operazioni	Note	Punti Att.
01	Prelevare particolare e verificare integrità e orientare il disco come da foto	Rif.01	▲
02	Avvolgere particolare con carta VCI		
03	Prelevare scatola e formarla		
04	Inserire particolare in scatola		
05	Prelevare n°2 spezzoni di Ranpak e disporli a protezione superiore del particolare	Rif.02	
06	Chiudere scatola, applicare nastro adesivo ed etichetta identificativa prodotto		
07			
08			
09			
10			



Figura 9 Scheda di Confezionamento

Work Analysis

Per garantire l'assoluta ripetibilità, oggettività e rigore scientifico nella determinazione dei tempi di ciclo, l'area Work Analysis del team adotta la metodologia scientifica dei Tempi Predeterminati, applicando nello specifico il modello MTM (Methods-Time Measurement) [6].

Secondo i postulati fondamentali dell'MTM, qualsiasi operazione manuale di confezionamento o assemblaggio può essere interamente scomposta in una combinazione sequenziale di movimenti umani fondamentali (quali Raggiungere, Afferrare, Spostare, Posizionare, Rilasciare). A ciascuno di questi micro-movimenti elementari non viene assegnato un tempo espresso in secondi, bensì un valore fisso e standardizzato misurato in TMU (Time Measurement Unit), dove:

$$1\ \text{TMU} = 0{,}00001\ \text{ore} = 0{,}0006\ \text{minuti} = 0{,}036\ \text{secondi}$$

Il tempo standard assegnato a ciascun micro-movimento è memorizzato in tabelle ed è calcolato statisticamente per un operatore medio addestrato che lavori a un livello di performance normale. L'analista, nello studiare un nuovo ciclo To-Be, analizza i layout geometrici della postazione e scompone i gesti richiesti: ad esempio, la distanza coperta

dalle mani per prelevare un cartone determina univocamente il codice MTM di "Raggiungere", a cui corrisponde un preciso ammontare di TMU.

Questo approccio offre vantaggi ingegneristici straordinari: la progettazione preventiva in quanto consente di calcolare il tempo standard di un ciclo di confezionamento in modo predittivo e l'ottimizzazione ergonomica dei movimenti, perché permette di individuare ed eliminare istantaneamente i micro-movimenti inefficienti (es. cambi di presa simmetrici del pezzo, torsioni del busto, tragitti eccessivi delle mani), minimizzando l'affaticamento dell'operatore e garantendo il rispetto dei criteri di ergonomia industriale.

Dato che il polo logistico di San Mauro Torinese gestisce un'anagrafica attiva che supera i 50.000 codici ricambio, l'applicazione del modello MTM micro-analitico su ogni singolo Part Number sarebbe risultato operativamente impraticabile. Per coniugare il rigore scientifico dell'MTM con le necessità di flessibilità e rapidità di una grande Supply Chain, il team Work Analysis ha sviluppato un sistema strutturato di Tabelle dei Tempi Standard (Figura 10). Nel corso degli anni, il reparto ha capitalizzato i propri studi macro-componendo i micro-movimenti MTM all'interno di elementi operativi fissi e ricorrenti legati alle specifiche tecnologie di linea. I tempi standard non vengono quindi associati al singolo pezzo, ma al ciclo di confezionamento e al layout tecnologico assegnatogli.

Al fine di snellire la gestione anagrafica del database aziendale, l'organizzazione di queste tabelle segue tre criteri di matrice complessi:

- Accorpamento per Analogia di Distinta Base: quando l'analisi tecnica evidenzia che una famiglia di codici ricambio presenta una BOM che differisce esclusivamente per elementi marginali, i quali non alterano la sequenza dei gesti o l'ergonomia della manipolazione, il sistema unifica l'anagrafica assegnando a tutti i codici del gruppo il medesimo tempo standard di processo complessivo.
- Differenziazione per Pack Quantity: poiché la saturazione del lotto minimo di minuteria modifica le attività di Handling, le matrici dei tempi standard variano in modo non lineare in base al numero di pezzi inseriti nella stessa confezione. Il tempo di prelievo, conteggio e insaccamento multiplo viene mappato con precisione, catturando l'esatta efficienza dei cicli a quantità multipla.
- Addetti in Contemporanea: le tabelle registrano una differenziazione fondamentale legata al bilanciamento delle postazioni di lavoro, declinando il tempo standard anche in base a quanti operatori si occupano contemporaneamente

del confezionamento dello stesso Part Number. Questo parametro è indispensabile per riproporzionare le ore/uomo standard necessarie all'avanzamento dell'ordine, a seconda che la linea lavori in configurazione a operatore singolo o multi-addetto.

IVECO • GROUP	PACKAGING - TEMPI CICLO CONFEZIONAMENTO MANUALE IN BARELLE								Rev.1 del 01/03/2026
						N.2 ADDETTI			
Post	RIF1	Tipologia di confezione	Tipologia antiurto	RIF2	Processo di confezionamento	Tempo totale (min/pz)	Tempo ciclo (min/pz)	PRODUZIONE ORARIA	PRODUZIONE TURNO
						PACK QTY = 1			
BEG	VP01	PEDANA IN LEGNO (BARELLA)	CUNEI (no reggette)	A	fissaggio con n.2 cunei	8,068	4,034	14,9	112
				B	fissaggio con n.4 cunei	8,904	4,452	13,5	101
				C	fissaggio con n.6 cunei	9,742	4,871	12,3	92
BEG	VP02	PEDANA IN LEGNO (BARELLA)	CUNEI (si reggette)	A	fissaggio con n.2 cunei + n.2 reggette	9,528	4,764	12,6	94
				B	fissaggio con n.4 cunei + n.2 reggette	10,364	5,182	11,6	87
				C	fissaggio con n.6 cunei + n.2 reggette	11,200	5,600	10,7	80
BEG	VP03	PEDANA IN LEGNO (BARELLA)	TRAVETTI (no reggette)	A	fissaggio con n.2 travetti + n.2 viti	8,500	4,250	14,1	106
				B	fissaggio con n.2 travetti + n.4 viti	8,807	4,403	13,6	102
				C	fissaggio con n.2 travetti + n.6 viti	9,113	4,556	13,2	99
				D	fissaggio con n.2 travetti + n.8 viti	9,419	4,709	12,7	96
				E	fissaggio con n.4 travetti + n.2 viti	9,462	4,731	12,7	95
				F	fissaggio con n.4 travetti + n.4 viti	9,750	4,875	12,3	92
				G	fissaggio con n.4 travetti + n.6 viti	10,074	5,037	11,9	89
				H	fissaggio con n.4 travetti + n.8 viti	10,380	5,190	11,6	87
BEG	VP04	PEDANA IN LEGNO (BARELLA)	TRAVETTI (si reggette)	A	fissaggio con n.2 travetti + n.2 reggette	9,653	4,827	12,4	93
				B	fissaggio con n.4 travetti + n.2 reggette	10,615	5,307	11,3	85
BEG	VP05	PEDANA IN LEGNO (BARELLA)	TRAVETTI + CUNEI (no reggette)	A	fissaggio con n.2 travetti + n.4 cunei	9,867	4,934	12,2	91
				B	fissaggio con n.4 travetti + n.2 cunei + n.4 viti	10,604	5,302	11,3	85
				C	fissaggio con n.6 travetti + n.2 cunei + n.6 viti	12,236	6,118	9,8	74
BEG	VP06	PEDANA IN LEGNO (BARELLA)	TRAVETTI + CUNEI (si reggette)	A	fissaggio con n.2 travetti + n.2 cunei	10,489	5,245	11,4	86
				B	fissaggio con n.2 travetti + n.4 cunei	11,326	5,663	10,6	79
				C	fissaggio con n.4 travetti + n.2 cunei	11,452	5,726	10,5	79
				D	fissaggio con n.4 travetti + n.4 cunei	12,651	6,326	9,5	71
				E	fissaggio con n.4 travetti + n.6 cunei	13,124	6,562	9,1	69
				F	fissaggio con n.4 travetti + n.8 cunei	13,960	6,980	8,6	64

Figura 10 Esempio Tabella Tempi

La disponibilità di questo database di tempi standard costituisce lo strumento operativo primario per la pianificazione tattica e il controllo operativo dell'intero stabilimento. Incrociando i tempi standard estratti dalle tabelle con i flussi previsionali dei volumi di materiale sfuso in ingresso (Inbound forecast), il Management di San Mauro è in grado di calcolare con precisione la capacità produttiva oraria ottimale delle linee e di prevedere il throughput reale. Conoscere preventivamente la capacità oraria standard consente di dimensionare correttamente i turni di lavoro della manodopera diretta, allocare il personale sulle linee tecnologiche corrette ed eliminare i colli di bottiglia prima che si verifichino, garantendo il pieno rispetto del livello di servizio richiesto dal magazzino centrale e dalla rete distributiva globale di IVECO.

Questo impianto di tempi standardizzati non rimane un mero strumento analitico a disposizione del management, ma viene capillarmente distribuito e integrato direttamente sul piano di lavoro in ottica di Visual Management. I target derivati dalle tabelle MTM

vengono formalizzati all'interno delle Istruzioni Operative Standard (SOP) esposte in ciascuna postazione: in questo modo, gli operatori stessi conoscono con assoluta certezza l'output orario atteso e la cadenza produttiva da mantenere per la specifica famiglia di ciclo in lavorazione.

La condivisione trasparente di questo dato abilita un monitoraggio continuo e bidirezionale delle performance di linea. I responsabili di linea possono confrontare istantaneamente i pezzi effettivamente imballati con il target standard teorico e qualsiasi scostamento negativo tra la produzione reale e la capacità oraria memorizzata a sistema funge da indicatore immediato di un'anomalia (es. micro-fermate tecniche, ritardi nell'approvvigionamento dei materiali ausiliari, criticità ergonomiche), consentendo al team di supervisione di intervenire tempestivamente con logiche di Problem Solving rapido e di alimentare il processo di miglioramento continuo dello stabilimento.

Al fine di garantire che i target orari derivati dallo studio dei tempi siano sostenibili nel lungo periodo, il tempo puramente tecnico risultante dal calcolo MTM viene integrato applicando i coefficienti di maggiorazione per riposo e bisogni personali (fisiologici e di affaticamento). Nello stabilimento di San Mauro Torinese, la determinazione di questi tempi di recupero non è discrezionale, ma risponde rigorosamente ai requisiti del D.Lgs. 81/08, Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro [7] , e, in particolare, alla norma tecnica internazionale ISO 11228-3 [8], che disciplina i criteri ergonomici per i compiti ripetitivi degli arti superiori ad alta frequenza, tipici delle linee di confezionamento e asservimento della ricambi.

Il calcolo delle maggiorazioni segue la metodologia standardizzata delle concessioni erogate dal sistema dei tempi predeterminati. Il tempo standard definitivo caricato a sistema viene così strutturato:

$$T_{\text{standard}} = T_{\text{tecnico_MTM}} \times \left(1 + K_{\text{maggiorazione}}\right)$$

introduce una percentuale di tolleranza calcolata analiticamente in base a precise variabili operative:

- Fattori di Affaticamento Biomeccanico: Valutazione dello sforzo muscolare applicato dalle dita e dalle mani durante le azioni di Handling, della ripetitività dei gesti all'interno del minuto e della presenza di posture incongrue (es. torsioni del polso per sagomare inserti protettivi o imballaggi complessi).

- Fattori Ambientali e Visivi: Stress cognitivo e visivo legato al controllo qualitativo dei codici, alla lettura delle etichette e alla nastratura dei colli, combinato con i parametri di illuminamento e microclima dell'area di linea.

Questo impianto matematico assicura che all'interno delle 8 ore di turno sia strutturalmente previsto, integrato e pagato a budget il tempo necessario per effettuare le pause di recupero fisiologico prescritte dalle normative di tutela. Le interruzioni non gravano sull'efficienza teorica dell'operatore, poiché la capacità oraria attesa e il ritmo della postazione sono già calcolati al netto dei periodi di riposo. L'integrazione sistematica delle maggiorazioni previene l'insorgenza di disturbi muscolo-scheletrici da sovraccarico funzionale, garantendo la massima aderenza al pilastro Safety del World Class Manufacturing e coniugando la saturazione economica della linea con il benessere fisico del lavoratore.

Continuous improvement

La mappatura, la codifica in distinta base e la digitalizzazione del ciclo di confezionamento attraverso la procedura standardizzata non costituiscono un punto di arrivo statico, bensì la baseline operativa per l'innesco delle attività di Continuous Improvement. Il reparto Packaging Methods, in linea con i pilastri metodologici del WCM [9] e con la filosofia Kaizen adottati stabilmente all'interno del PLC, concepisce lo Standard Work come un'entità dinamica, costantemente soggetta a revisione e ottimizzazione.

Il monitoraggio delle performance del packaging, una volta immesso nella rete logistica, non si limita a una valutazione passiva, ma si alimenta di un doppio canale di segnalazione che funge da input per l'attivazione del team:

- Input Interni al Reparto: derivano dall'analisi strutturata dei dati storici aziendali, dal monitoraggio dei Key Performance Indicators (KPI) di stabilimento, dall'emergere di nuove tecnologie di confezionamento o da intuizioni ingegneristiche nate all'interno dello stesso team Methods & Work Analysis.
- Input Esterni al Reparto: coinvolgono una fitta rete collaborativa cross-funzionale. Possono scaturire dai riscontri diretti e dai suggerimenti proattivi degli operatori di linea, i quali, lavorando quotidianamente, intercettano per primi le micro-inefficienze dei materiali o le criticità ergonomiche del ciclo, dalle segnalazioni dei team di Quality e Safety, o ancora da indicazioni provenienti dall'esterno del

polo logistico, come i feedback della rete dei concessionari IVECO, dei Depot remoti internazionali o degli stessi nodi di trasporto relativi a criticità riscontrate durante i transiti.

Nel momento in cui una di queste fonti evidenzia uno scostamento rispetto ai target aziendali, un'anomalia qualitativa o una concreta opportunità di ottimizzazione tecnico-economica, il team avvia immediatamente la procedura di revisione del codice.

L'atto iniziale e fondamentale di questa fase consiste nel blocco temporaneo del flusso standard del codice all'Inbound. Attraverso il sistema informativo gestionale dello stabilimento, l'anagrafica del Part Number viene posta in uno stato di sospensione: in questo modo, non appena le unità sfuse del ricambio arrivano ai banchi di accettazione merci per essere caricate, il sistema intercetta fisicamente i lotti, impedendo che vengano instradati verso le linee con i vecchi dati e cicli di confezionamento che sono messi in discussione.

Con il flusso in ingresso “congelato” per evitare la propagazione dello spreco (Muda), il team Methods & Work Analysis riapre ufficialmente lo studio tecnico del codice. Gli analisti procedono a smantellare e rielaborare l'intero lavoro standard eseguito in precedenza, mettendo nuovamente in discussione l'architettura dei materiali ausiliari, i vincoli del DSS e la scomposizione dei tempi ciclo operativi. Questa fase di audit profondo serve a verificare analiticamente se vi sia il margine ingegneristico per un miglioramento in toto dell'imballo.

È proprio in questo contesto di miglioramento continuo e flessibilità operativa che si colloca il nucleo sperimentale e applicativo di questo lavoro di tesi. Ciascun intervento, pur muovendosi all'interno della medesima strategia integrata del polo logistico, risponde ad una specifica necessità del miglioramento continuo: la risoluzione delle non-conformità qualitative, l'ottimizzazione volumetrica dei flussi distributivi globali e l'efficientamento dei tempi e delle postazioni di confezionamento in linea.

Capitolo 3 - Qualità e protezione del prodotto: progetto di abbattimento delle Claim

L’innesco del primo progetto pilota nasce da una diretta sinergia interfunzionale tra il team *Packaging Methods* e il reparto *Qualità* di IVECO. All'interno di un sistema logistico globale, la Qualità agisce come un costante sensore sul campo: il monitoraggio sistematico dei feedback provenienti dai mercati internazionali ha infatti evidenziato un’anomala concentrazione di segnalazioni di non-conformità su uno specifico part number: un kit mozzo ruota.

L’elevata frequenza di queste segnalazioni di danneggiamento ha reso necessario interrompere la gestione ordinaria del codice per avviare un progetto di re-ingegnerizzazione mirato, volto a individuare le cause radice del problema e a ridefinire lo standard protettivo dell'imballo.

3.1 AS IS

Configurazione del Packaging Originario

Per comprendere le ragioni del fallimento strutturale dell'imballo, è necessario mappare la baseline tecnologica da cui il team è partito. La configurazione del packaging originariamente approvata a sistema (Figura 11) prevedeva l'utilizzo di una scatola esterna in cartone ondulato di tipo CG, combinata con un sistema di protezione interna interamente basato su Pluriball. Quest'ultimo componente aveva il compito teorico di avvolgere il ricambio, colmare i vuoti geometrici interni alla scatola e ammortizzare le sollecitazioni meccaniche verticali e longitudinali tipiche dei trasporti intermodali.

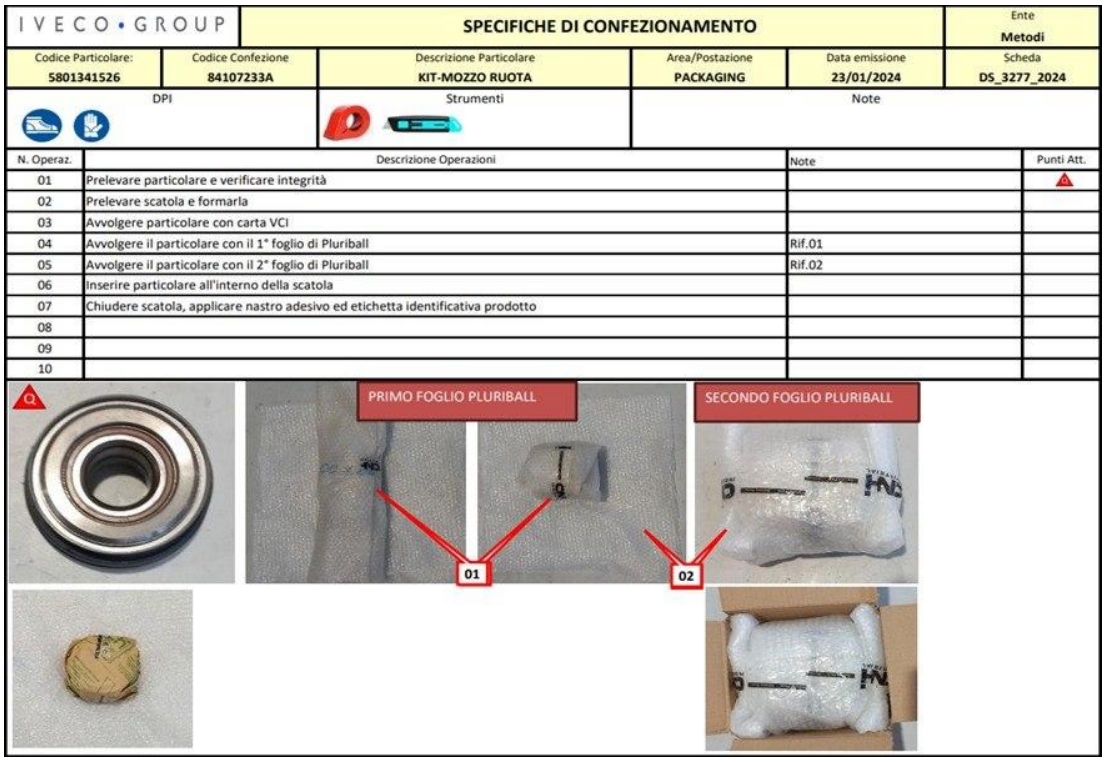


Figura 11 Scheda confezionamento Kit Mozzo Ruota AS IS

La sigla CG definisce una specifica combinazione di onde e grammature all'interno della classificazione industriale del cartone ondulato, progettata per rispondere a precisi requisiti di resistenza statico-meccanica. Il cartone ondulato è un materiale composito leggero, strutturato secondo un principio ingegneristico: l'alternanza di fogli piani (copertine) e fogli ondulati (ondulazioni) uniti mediante collanti a base di amido. Nello specifico dello scenario esaminato, l'architettura accoppiata prevede [10]:

- Onda di tipo "C" (Onda Alta): presenta un'altezza nominale dell'onda compresa tra 3,5 mm e 4,4 mm, con un passo (distanza tra due creste successive) di circa 6,5 - 7,5 mm. Questo profilo geometrico è ottimizzato per offrire un'elevata resistenza alla compressione verticale, fondamentale per lo stoccaggio, e un'ottima capacità di assorbimento dell'energia cinetica derivante da urti perpendicolari alle facce della scatola.
- Onda di tipo "G" (Micro-onda fine): caratterizzata da uno spessore estremamente ridotto (altezza onda intorno a 0,5 - 0,8 mm), viene impiegata prevalentemente per accrescere la rigidità flessionale della struttura, aumentare la resistenza alla perforazione localizzata e garantire una superficie di stampa ottimale, riducendo l'effetto "washboarding", cioè l'increspatura visibile sulla copertina esterna.

L'accoppiamento combinato CG configura quindi un cartone a doppia onda, con uno spessore complessivo nominale che si attesta intorno ai 4 - 5,2 mm. Questa configurazione è progettata per ripartire le sollecitazioni lungo i tre assi ortogonali, sfruttando le proprietà sinergiche dei due profili: l'onda macro (C) ammortizza i macro-impatti energetici, mentre la micro-onda (G) conferisce stabilità geometrica e rigidità torsionale all'intero volume del collo.

Il parametro fondamentale per l'omologazione della scatola è il Box Compression Test , che misura la resistenza massima alla compressione verticale dell'intero imballo formato e sigillato. Il reparto Packaging Methods fornisce al fornitore il carico statico obiettivo che la scatola deve tollerare, calcolato in base all'altezza massima di impilamento dei pallet a magazzino e ai coefficienti di sicurezza distribuzionali. Il carico statico teorico di progetto (Cc) viene determinato tramite la formula:

$$C_c = P \times (n-1) \times f_S$$

Dove P rappresenta il peso lordo del singolo collo, n è il numero massimo di colli sovrapponibili in colonna secondo i vincoli di saturazione delle scaffalature o delle baie di stoccaggio intensive, e f_S è un fattore di sicurezza correttivo (compreso generalmente tra 3 e 5) che svaluta la resistenza del cartone in funzione di fattori ambientali critici, quali l'umidità relativa del magazzino e i transitori di trasporto. Una volta ricevuto il valore di carico target espresso in chilogrammi, il fornitore esegue lo studio di fattibilità tecnica, selezionando la combinazione di grammature e la qualità delle carte necessarie a superare con successo il test BCT in laboratorio.

La protezione interna del Kit Mozzo Ruota affidata ad un avvolgimento manuale in film a bolle d'aria, comunemente noto come Pluriball, realizzato in Polietilene a Bassa Densità (LDPE), sfrutta il principio del confinamento pneumatico: l'aria intrappolata all'interno delle semisfere plastiche funge da microscopico ammortizzatore elastico, in grado di flettere e assorbire piccoli picchi di decelerazione. Tuttavia, l'applicazione del pluriball su componenti della classe di peso del mozzo ruota (~3,4 kg) evidenzia limiti fisici strutturali invalicabili lungo una supply chain globale:

- Concentrazione del Carico Statico e Dinamico: il mozzo ruota è un componente metallico con geometrie spigolose, tra cui la corona stessa. Quando il collo viene movimentato manualmente o subisce un impatto, la forza d'urto non si distribuisce uniformemente, ma si concentra su una superficie millimetrica. La pressione

locale supera istantaneamente la resistenza a trazione del film in LDPE, causando il repentino scoppio delle bolle d'aria adiacenti alla corona.

- Collasso da Sollecitazione Ciclica: anche in assenza di uno scoppio immediato, i trasporti intermodali ed espressi espongono il collo a vibrazioni continue e micro-urti ripetuti. Sotto l'effetto di questi cicli ad alta frequenza, l'aria contenuta nelle bolle subisce ripetute variazioni di pressione e temperatura dovute ai fenomeni di compressione e decompressione, che favoriscono la diffusione del gas attraverso le pareti polimeriche. Il risultato è lo sgonfiamento progressivo dell'imballo che azzera lo spessore utile di protezione prima che il pacco giunga a destinazione.

Una volta esaurita la capacità ammortizzante delle bolle, il film protettivo si riduce a un sottile strato di polietilene compresso di pochissimi millimetri. Il mozzo ruota ottiene così un preoccupante grado di libertà geometrica all'interno della scatola in cartone CG: il pezzo è libero di sbattere contro le pareti interne. Questo comportamento dinamico incontrollato trasferisce l'intera energia cinetica degli impatti esterni direttamente sulla corona del ricambio, che funge da punto d'appoggio rigido contro il cartone, determinando la ricorrenza geometrica sistematica delle rotture evidenziate dai report del reparto Qualità.

Inoltre, oltre alla vulnerabilità intrinseca della geometria del componente, la causa primaria del danneggiamento sistematico risiede nelle specifiche modalità di movimentazione che caratterizzano l'Unità di Collo lungo l'intera filiera distributiva Aftermarket. All'interno dei network logistici globali, le proprietà fisiche di un imballo, nello specifico la sua massa e le sue dimensioni d'ingombro, ne determinano a priori il posizionamento all'interno di precise macro-classi di flusso, ciascuna soggetta a differenti coefficienti di sollecitazione meccanica. Con un peso lordo stimato tra i 3 e i 4 kg e dimensioni volumetriche contenute, il package del kit mozzo ruota rientra nella classe dei carichi a movimentazione manuale o semi-automatizzata. Questa classificazione operativa genera un netto e critico trade-off in termini di stress distribuzionale se confrontata con i flussi di merci pesanti o consolidate su pallet standard.

I carichi pallettizzati impongono infatti per loro natura l'impiego vincolato di ausili meccanici d'officina, quali carrelli elevatori o transpallet, che garantiscono traiettorie di spostamento stabili e accelerazioni controllate entro margini di sicurezza rigorosi, riducendo quasi a zero il rischio di shock verticali improvvisi o cadute libere. Al contrario,

i colli leggeri e di piccole dimensioni seguono una rete diversa, dove l'unità di collo è sistematicamente esposta a sollecitazioni dinamiche accidentali, repentine e cicliche. Durante le fasi critiche di transito presso gli Hub di smistamento, l'ergonomia e i ritmi serrati imposti agli operatori logistici introducono una forte componente di imprevedibilità cinetica, traducendosi in frequenti lanci orizzontali o cadute libere dalle baie di carico nei furgoni o nei container, con un conseguente accumulo di energia d'impatto che si scarica istantaneamente al momento del contatto con il suolo o con altri corpi rigidi.

Per comprendere nel dettaglio l'entità di queste sollecitazioni, è utile mappare i passaggi logistici sequenziali di una tratta distributiva tipo.

Il flusso logistico ha origine direttamente presso le linee di confezionamento dello stabilimento di San Mauro Torinese. Già in questa primissima fase embrionale si registra una potenziale sorgente di vulnerabilità legata al fattore manuale, poiché l'addetto alla linea potrebbe eseguire un avvolgimento non ottimale o asimmetrico del pluriball a causa degli elevati ritmi produttivi. Nello stesso istante in cui il pacco viene chiuso e conferito alla zona di spedizione, subisce la prima fase di smistamento (sorting) manuale, dove può essere lanciato o lasciato cadere all'interno del contenitore finale destinato al trasporto primario. Una volta caricato sul camion, il collo affronta il trasferimento verso il Magazzino Centrale di Torino, subendo le vibrazioni continue del trasporto stradale. Presso il Magazzino Centrale, il pacco viene scaricato dal veicolo, movimentato e messo a magazzino nelle scaffalature di stoccaggio temporaneo. Da questa postazione, per raggiungere il mercato, il ricambio viene prelevato e mandato verso altri hub logistici dislocati sul territorio nazionale o internazionale, ognuno dei quali replica le medesime dinamiche di scarico, sorting e movimentazione automatizzata su nastri trasportatori e scivoli. Da questi nodi intermedi, l'imballo viene nuovamente prelevato e instradato verso il magazzino del singolo concessionario (dealer), per poi subire l'ultimo trasferimento della catena distributiva, ovvero la consegna finale dal dealer all'officina del cliente finale.

Questo viaggio dimostra come lo stress subito dal sistema di confezionamento non sia un evento isolato, ma una successione cumulativa di impatti. È l'azione ripetuta di questa catena logistica altamente frammentata che innesca la fatica pneumatica e il collasso delle bolle d'aria del pluriball, determinando lo sfondamento localizzato del cartone e il successivo danneggiamento della corona del ricambio prima del suo utilizzo.

Analisi Storica e Costo delle Claims

L'analisi tecnica dei danneggiamenti estratti dai report del team Qualità ha evidenziato una ricorrenza geometrica sistematica: le rotture e le deformazioni non si verificavano in modo casuale sulla superficie del pezzo, ma si concentravano nella totalità dei casi in corrispondenza della corona del ricambio. Questa specifica area presenta una forte vulnerabilità geometrica e strutturale, risultando altamente suscettibile agli impatti concentrati.

L'evidenza fotografica (Figura 12) della rottura sistematica della corona trova un riscontro diretto ed estremamente critico nei dati quantitativi raccolti dal reparto Qualità. Per valutare la reale entità del fenomeno, il team ha isolato lo storico dei claim relativi al codice in esame su un orizzonte temporale di dodici mesi, registrando un volume totale di quasi 30 segnalazioni annue di non-conformità.



Figura 12 Immagini Claims Kit Mozzo Ruota

In un'ottica di ingegneria gestionale, è fondamentale sottolineare che le segnalazioni gestite dal team Qualità non presentano una natura omogenea: ogni claim risponde a una specifica causale (es. materiale danneggiato, difetto industriale, Part Wrong, ovvero l'invio di un codice errato rispetto all'ordine). Di conseguenza, l'impatto economico sul valore del ricambio varia sensibilmente a seconda della motivazione:

- Perdita secca del valore (Danno/Rottura): nel caso di cedimento strutturale della corona, il componente non è ripristinabile. Il suo intero valore industriale viene registrato a perdita e il pezzo viene rottamato in loco.
- Recupero del valore (Errore logistico / Part Wrong): se il claim è generato dall'invio di un pezzo errato ma integro, IVECO Aftermarket ha la possibilità di

stornare la perdita del costo del ricambio attraverso la voce a sistema No Impact Std Cost. Il valore viene recuperato riattivando la logistica di ritorno per re-immettere il codice corretto a stock.

Tuttavia, per evitare che i costi di trasporto del flusso di ritorno superino il valore stesso della merce, IVECO applica una rigida regola di sbarramento economico: il rientro fisico del componente viene autorizzato esclusivamente per articoli con uno Standard Cost superiore a 300 €. Al di sotto di questa soglia, come accade per la minuteria leggera, il viaggio di rientro risulterebbe finanziariamente inefficiente, e si procede all'alienazione o alla rottamazione locale del pezzo.

Per valutare l'impatto totale di queste dinamiche, il sistema elabora l'algoritmo del Total Net C_{NQ_Net}, che riassume le seguenti voci di costo operative [11]:

- Costo di Confezionamento e Logistica $C_{Pack\text{-}Log}$: se la contestazione richiede un ri-confezionamento o impatta la logistica distributiva, viene applicata una penale fissa pari al 34% del Costo Standard del ricambio C_{std}*0,34.
- Costo di Gestione Resi e Trasporti $C_{Hand\text{-}Rent}$: se l'anomalia prevede l'attivazione della catena di ritorno del reso, il costo viene calcolato integrando le frazioni di tempo speso dai colletti bianchi (White Collar - WC) e dai colletti blu (Blue Collar - BC) addetti alla movimentazione fisica, a cui si aggiunge un ulteriore 8% del Costo Standard del pezzo per le spese di trasporto straordinario:

$$C_{Hand_Rent} = \frac{Costo\ Medio\ Manodopera\ BC}{2} + \frac{Costo\ Medio\ Manodopera\ WC}{12} + (CStd \times 0{,}08)$$

- Costo di Controllo Stock e Inventario $C_{Stock\text{-}Check}$: all'apertura di un claim, scatta l'obbligo ispettivo a magazzino. Questa voce valorizza le ore/uomo dedicate al controllo straordinario delle giacenze residue di quel determinato part number o dello specifico collo di spedizione. L'obiettivo è verificare se nel medesimo lotto vi siano altri pezzi che hanno subito lo stesso danneggiamento. Questa operazione è fortemente agevolata dalla tracciabilità totale della supply chain di IVECO: ogni tratta logistica è monitorata a sistema, rendendo immediato il tracciamento a ritroso del percorso del lotto per isolare tempestivamente i colli a rischio.
- Costo di Amministrazione e Analisi Tecnica $C_{Admin\text{-}An}$: esprime il tempo speso dal personale d'ufficio e dagli ingegneri della qualità per l'apertura della pratica a

sistema e l'analisi metallurgica/geometrica del danno. Viene quantificato moltiplicando il costo orario medio dei colletti bianchi per il numero complessivo di claim registrati.

$$C_{Admin-An} = C_{Med-WC} * n°Claim$$

L'algoritmo calcola inizialmente l'impatto economico lordo della contestazione, definito come Total Before Recovered:

$$C_{Lordo} = C_{Std} + C_{Admin-an} + C_{Pack-Log} + C_{Hand_Rent} + C_{Stock_Check}$$

Per determinare l'effettivo impatto economico imputabile alla funzione Qualità, il sistema calcola il Total Net CNQ. Tale indicatore deriva dal costo lordo della non qualità (Total Gross CNQ) al netto di eventuali importi non attribuibili alla logistica o recuperabili. Questi importi sono registrati tramite la voce No Impact Std Cost, corrispondente generalmente al valore standard del componente reclamato. Qualora tale voce sia presente, il relativo valore viene sottratto dal costo lordo, consentendo di ottenere il costo netto effettivamente a carico della funzione Qualità:

$$C_{NQ_Net} = \begin{cases} C_{Lordo} - C_{No_{Impact}} & se\ C_{No_{Impact}}\ \text{è}\ valorizzato \\ C_{Lordo} & se\ C_{No_Impact}\ \text{è}\ nullo \end{cases}$$

Analisi FMEA ex-post e avvio del progetto Kaizen

Sebbene l'azione di blocco del codice e la successiva riprogettazione siano state innescate empiricamente dall'urgenza delle claim sul campo, si è ritenuto fondamentale introdurre ex-post un framework analitico rigoroso per validare scientificamente la priorità di tale intervento. A questo scopo, è stata sviluppata un'analisi FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) [12] focalizzata sulle modalità di guasto della baseline storica del Kit Mozzo Ruota. L'obiettivo è quantificare l'Indice di Priorità del Rischio (RPN - Risk Priority Number), inteso come prodotto di tre variabili valutate su scala 1-10 in conformità con gli standard automotive AIAG [13]: Gravità (S), Probabilità di Accadimento (O) e Rilevabilità del difetto prima della consegna al cliente (D):

$$\text{RPN} = S \times O \times D$$

Nello scenario originario AS-IS, il modo di guasto identificato è lo sfondamento localizzato dell'imballo interno in pluriball dovuto alla concentrazione del carico statico e alla fatica pneumatica causata dalle geometrie taglienti della corona del mozzo. L'effetto del guasto è la rottura strutturale della corona stessa del ricambio meccanico.

- La Gravità (S) è stata stimata pari a 8, poiché il cedimento rende il componente inutilizzabile (rottamazione secca), compromette il Service Level e rischia di causare un fermo macchina oneroso per il cliente finale.
- L'Accadimento (O) riceve una valutazione pari a 6, coerentemente con l'elevata frequenza dei claim storici registrati sulle tratte.
- La Rilevabilità (D) si attesta a un punteggio critico di 7: il collasso delle bolle d'aria avviene all'interno del cartone sigillato durante il transito logistico, rendendo il difetto invisibile per gli operatori degli hub centrali e intercettabile solo all'arrivo presso l'officina del cliente.

Il calcolo dell'RPN iniziale evidenzia un valore fortemente critico:

$$\mathrm{RPN}_{\text{AS-IS}} = 8 \times 6 \times 7 = 336$$

Tale punteggio supera ampiamente la soglia critica convenzionalmente assunta a livello accademico e industriale per il comparto automotive, tipicamente fissata a un RPN pari a 100 in conformità con le linee guida internazionali AIAG (Automotive Industry Action Group). All'interno del presente lavoro di tesi, si è scelto di adottare questo valore come benchmark metodologico di riferimento: una soglia di sbarramento oggettiva che, pur non essendo formalizzata in una procedura interna aziendale per il packaging, permette di razionalizzare la priorità degli interventi. Un indice superiore a 100 evidenzia infatti la convergenza di fattori di rischio non più trascurabili per severità o frequenza, confermando a posteriori, su basi scientifiche e quantitative, la piena fondatezza tecnica e gestionale dell'avvio del progetto Kaizen.

L'analisi FMEA diventa così lo strumento cardine per indirizzare le attività di miglioramento continuo dell'ente Methods & Work Analysis, offrendo sia la giustificazione tecnica all'avvio del Kaizen, sia la metrica di verifica, tramite l'abbattimento dell'RPN nel TO-BE, del successo del progetto stesso.

3.2 TO BE

Ingegnerizzazione del Nuovo Inner Pack in Poliuretano Espanso

Presa coscienza dei limiti strutturali del pluriball a fronte di sollecitazioni dinamiche manuali, il team Packaging Methods ha avviato la fase di riprogettazione dell'imballo interno, abbandonando le soluzioni standard da catalogo per sviluppare un inner pack

completamente personalizzato. La scelta ingegneristica è ricaduta sull'impiego del poliuretano espanso, un polimero caratterizzato da proprietà fisico-meccaniche adatte al confezionamento del pezzo (Figura 12).

Il motivo tecnico primario di questa transizione risiede nella capacità di deformazione elastica e nella memoria di forma intrinseche del poliuretano. A differenza dell'inner precedente, che subisce un collasso plastico permanente, il poliuretano espanso ha una struttura a celle che agisce come una vera e propria molla pneumatica. Quando il collo viene sottoposto a uno shock da caduta o da lancio, il materiale assorbe l'energia cinetica comprimendosi, dissipa l'impatto sotto forma di calore e ritorna istantaneamente alla sua geometria originaria. Questo garantisce una protezione costante e ripetuta lungo tutta la tratta logistica, indipendentemente dal numero di movimentazioni subite dal collo.

Oltre alle proprietà del materiale, l'innovazione del progetto risiede nel co-design geometrico condotto in sinergia con un fornitore partner specializzato nella trasformazione delle materie plastiche. Il profilo interno del poliuretano è stato lavorato per creare una sede millimetrica che avvolge il corpo del ricambio. In questo modo, la corona non subisce mai una pressione diretta: il poliuretano blocca il movimento del pezzo afferrandolo nei suoi punti strutturalmente più resistenti, annullando il fenomeno dello "sbattimento" interno che generava i claims.

A differenza dello studio preliminare, si è riscontrata la necessità di industrializzare anche una nuova scatola esterna in cartone. Per garantire l'efficacia del poliuretano, infatti, l'inserto deve lavorare in condizioni di perfetto confinamento geometrico. Una scatola sovradimensionata avrebbe generato un eccessivo gioco tra l'imballo e il blocco polimerico, consentendo a quest'ultimo di scivolare all'interno e vanificare l'effetto ammortizzante. La nuova scatola è stata quindi dimensionata per calzare al millimetro attorno all'alloggiamento in poliuretano. Questo approccio di Total Packaging Design

elimina i giochi interni e distribuisce gli sforzi d'impatto in modo uniforme su tutta la struttura esterna del cartone.



IVECO • GROUP — SPECIFICHE DI CONFEZIONAMENTO — Ente: Metodi

Codice Particolare:	Codice Confezione	Descrizione Particolare	Area/Postazione	Data emissione	Scheda
5801341526	84107589	KIT-MOZZO RUOTA	PACKAGING	27/01/2026	DS_8143_2026

DPI | Strumenti | Note

N. Operaz.	Descrizione Operazioni	Note	Punti Att.
01	Prelevare particolare e verificare integrità		⚠
02	Prelevare scatola e formarla		
03	Avvolgere particolare con carta VCI		
04	Prelevare e formare gli inner di fornitura	Rif.01	
05	Inserire Inner 1 in scatola	Rif.02	
06	Inserire particolare all'interno della scatola		
07	Inserire Inner 2 in scatola	Rif.03	
08	Chiudere scatola, applicare nastro adesivo ed etichetta identificativa prodotto		
09			
10			

Figura 12 Scheda confezionamento Kit Mozzo Ruota TO BE

Valutazione di Fattibilità Economica

Definite le specifiche geometriche necessarie per garantire l'integrità della corona del mozzo ruota, il team Packaging Methods ha trasferito i requisiti progettuali al fornitore, che, a valle dello studio di fattibilità tecnica, ha formulato un preventivo economico per la fornitura on-demand dell'imballo. Ricevuto il prezzo unitario dell'inserto in poliuretano espanso, il team ha avviato l'analisi di fattibilità economica per verificare la sostenibilità finanziaria del progetto prima di procedere con l'acquisto dei prototipi e l'esecuzione dei test distruttivi di laboratorio.

La valutazione si è basata su un confronto differenziale a livello unitario (€/pezzo) tra la baseline storica e la soluzione proposta, focalizzandosi sul costo d'acquisto dei materiali: la soluzione To-Be comporta un incremento del costo dei materiali d'imballo. Il pluriball e la scatola CG standard originari presentavano un costo d'acquisto aggregato molto contenuto (circa 0,60 €). Il nuovo assetto, composto dalla scatola speciale su misura e dall'inserto in poliuretano, comporta un incremento del costo unitario dell'imballaggio di

circa il 49% rispetto alla soluzione precedente. Tale aumento è riconducibile all'introduzione dei due nuovi componenti progettati per garantire un livello di protezione superiore durante le fasi di movimentazione e trasporto.

Sotto il profilo puramente finanziario dell'analisi di fattibilità, il team ha considerato il tempo di confezionamento della soluzione As-Is e di quella To-Be come equivalente, non applicando variazioni al costo della manodopera diretta poiché i due cicli presentavano tempistiche complessive analoghe. La transizione al nuovo assetto introduce tuttavia un salto di qualità radicale in termini di standardizzazione industriale, ergonomia del lavoro e controllo dei costi a priori:

- Criticità dello Scenario Storico (uso del Pluriball): la postazione di avvolgimento originaria presentava un elevato livello di stress operativo per l'addetto alla linea. L'operatore era forzato a tagliare manualmente i fogli di pluriball da una bobina di grandi dimensioni, per poi manipolare e rigirare più volte il mozzo ruota all'interno del film per garantire il doppio strato protettivo imposto dalle specifiche tecniche. Questa operazione, oltre a risultare ergonomicamente logorante a causa del peso del componente meccanico, introduceva un rischio concreto di infortunio: lo schiacciamento delle dita sotto il pezzo durante le rotazioni.
- Mancanza di Controllo sui Consumi Generati: dal punto di vista del controllo di gestione, la totale assenza di fogli di pluriball pre-tagliati faceva sì che l'operatore dimensionasse l'imballo "a occhio". Questo introduceva una variabilità incontrollabile nel consumo reale di materiale ausiliario che impediva al team Methods di formulare un calcolo dei costi preventivo e costringeva lo stabilimento a una quantificazione economica esclusivamente a consuntivo.

Al contrario, il nuovo processo risulta rigorosamente controllato sia sotto il profilo ergonomico che finanziario. Il design mirato del nuovo inner pack pre-sagomato elimina la necessità di sollevare e rigirare il pezzo pesante, riducendo drasticamente il carico biomeccanico e azzerando i rischi di infortunio alle dita grazie a un inserimento a incastro immediato e guidato. Inoltre, l'adozione di un inserto rigido definito elimina qualsiasi discrezionalità in linea: la distinta base riflette esattamente il consumo reale, bloccando la variabilità di processo e consentendo una perfetta e trasparente pianificazione dei costi a priori.

A fronte di questo incremento del costo d'acquisto del materiale, pari a un delta differenziale $\Delta = \sim 30€$ per singola Unità di Collo, il team Packaging Methods ha ritenuto la soluzione preventivamente sostenibile e meritevole di avanzamento. All'interno delle dinamiche competitive dell'Automotive Aftermarket, infatti, la valutazione economica sul puro materiale non può essere disgiunta dai benefici intangibili legati alla sicurezza dell'operatore, al controllo analitico del budget e, soprattutto, al rispetto del Service Level e alla tutela della Brand Equity aziendale.

L'elevata frequenza dei claims storici registrati sui mercati internazionali rappresentava una criticità non tollerabile: il recapito di un ricambio strutturale danneggiato compromette la Customer Satisfaction, mina l'immagine di affidabilità del marchio IVECO e rischia di generare fermi macchina onerosi per l'utente finale.

L'approvazione finale e l'industrializzazione del nuovo assetto sono state quindi vincolate a un unico parametro critico: l'esito della validazione tecnica sperimentale. Solo l'eventuale superamento del rigido protocollo di laboratorio avrebbe confermato la capacità del poliuretano e della scatola su misura di azzerare i costi della non-qualità, giustificando pienamente l'extra-costo d'acquisto preventivato. Su queste basi strategiche, il team ha autorizzato l'approvvigionamento dei prototipi fisici per l'esecuzione immediata della fase di test.

Validazione di Fattibilità Tecnica: Lo Shock Test

La disponibilità dei primi campioni fisici prototipali realizzati dal fornitore ha permesso di tradurre le specifiche geometriche emerse dalla fase di co-design in riscontri empirici e misurabili. Dal punto di vista della fisica della materia e della meccanica, un urto si configura come un fenomeno transitorio impulsivo, caratterizzato da una variazione d'impulso ad elevata intensità che si sviluppa in un intervallo temporale Δt infinitesimo. L'obiettivo primario del nuovo sistema di confezionamento risiede nella capacità di massimizzare il tempo di decelerazione Δt durante l'impatto. Dilatando la durata temporale della collisione, la forza d'urto massima trasmessa al componente meccanico viene smorzata, mantenendo le sollecitazioni interne al di sotto del limite di snervamento e di rottura della corona metallica.

Nel settore Automotive Aftermarket, l'omologazione a sistema informativo di un nuovo assetto di imballaggio è strettamente vincolata al superamento di un rigido protocollo di Shock Test, comunemente denominato Drop Test, condotto presso laboratori di prova

accreditati. L'obiettivo di questa campagna sperimentale è sottoporre il prototipo assemblato alle sollecitazioni dinamiche peggiori (worst-case scenario) riscontrabili lungo i nodi critici della filiera distributiva globale, validandone l'efficacia strutturale prima di autorizzare il lancio della produzione in serie.

Per garantire la ripetibilità, l'oggettività scientifica e la riproducibilità dei risultati, la campagna segue i dettami dello standard internazionale ISTA 1° [14], emanato dall'International Safe Transit Association. Questo protocollo è specifico per il test di integrità di prodotti imballati individualmente con un peso lordo inferiore o uguale a 68 kg e agisce come una prova accelerata di resistenza che applica un livello di severità superiore alla media per indurre lo sforzo limite sulla struttura polimerica e sul cartone esterno.

La procedura ISTA 1A viene integrata con i principi metodologici della norma ASTM D5276 [15] per quanto concerne la definizione geometrica degli impatti, sebbene presso il PLC l'esecuzione fisica della caduta libera avvenga tramite movimentazione manuale diretta da parte dell'operatore, senza l'ausilio di sistemi automatici a botola o a bracci cadenti. Questa specificità operativa introduce all'interno del protocollo sperimentale la variabile del fattore umano, la quale richiede l'adozione di rigorosi accorgimenti procedurali per garantire l'accuratezza e la standardizzazione delle prove. Per mitigare l'imprevedibilità intrinseca del rilascio manuale e assicurare la massima ripetibilità, l'operatore si avvale di riferimenti metrici rigidi verticali per stabilire con precisione la quota di partenza di 75 centimetri rispetto al pavimento. Sotto il profilo cinematico, il tecnico deve garantire un rilascio a velocità iniziale nulla, evitando di imprimere spinte, componenti di accelerazione angolare o momenti rotazionali che devierebbero il collo dalla sua traiettoria di discesa perfettamente verticale. Il mantenimento dell'ortogonalità dell'impatto rispetto alla superficie di contatto è cruciale, poiché una caduta manuale eseguita in modo non perfettamente planare trasformerebbe l'urto puro in un moto roto-traslatorio, disperdendo l'energia su componenti vettoriali differenti e vanificando la severità dello screening richiesto dallo standard. L'altezza standardizzata di 75 centimetri determina una velocità di impatto teorica immediatamente prima del contatto con il pavimento calcolabile tramite l'equazione della conservazione dell'energia meccanica:

$$v = \sqrt{2 \times g \times h}$$

L'energia potenziale gravitazionale accumulata dal collo alla quota di partenza si converte interamente in energia cinetica, la quale deve essere dissipata dalla deformazione elastica della struttura a celle del poliuretano espanso al momento della collisione.

Per il Part Number in esame il piano di prova ha previsto una sequenza rigorosa di 10 cadute libere manuali che devono scaricarsi sul collo secondo un ordine geometrico ben preciso. Il ciclo si apre con una caduta sul vertice, effettuata sull'angolo della scatola identificato come il più prossimo alla posizione interna occupata dalla corona delicata del mozzo, al fine di testare la massima concentrazione dello sforzo puntuale e verificare la capacità dell'inserto di evitare il contatto solido da schiacciamento d'angolo. Successivamente, il protocollo prevede l'esecuzione di 3 impatti consecutivi sugli spigoli contigui al vertice testato, inducendo sollecitazioni di taglio e flessione sulle pareti del cartone CG e sollecitando l'inserto polimerico lungo vettori di forza inclinati. Il piano si conclude con 6 impatti eseguiti perpendicolarmente su tutte le sei facce esterne della scatola, una sequenza necessaria per misurare la capacità di dissipazione piana del poliuretano e l'effetto della decelerazione d'impatto distribuita sulle superfici estese.

I criteri di accettazione per decretare il superamento dello Shock Test sono vincolati a due verifiche contestuali e imprescindibili effettuate al termine della decima caduta. Sotto il profilo esterno, la scatola in cartone CG può presentare deformazioni plastiche o schiacciamenti d'angolo, ma non deve evidenziare lacerazioni strutturali tali da esporre il contenuto all'ambiente esterno. Sotto il profilo interno, che rappresenta il vincolo più critico per la funzione Qualità di IVECO, il blocco in poliuretano espanso deve aver trattenuto saldamente il ricambio nella sua sede millimetrica originaria senza evidenziare cricche e, soprattutto, il ricambio meccanico deve risultare completamente integro. L'ispezione visiva e dimensionale condotta sul componente al termine del ciclo di 10 cadute ha confermato l'assenza di qualsiasi incrinatura, deformazione o micro-frattura sulla corona del ricambio (Figura 13). I rilievi hanno dimostrato empiricamente che l'inserto polimerico personalizzato è stato in grado di assorbire l'impulso d'urto, distribuendo la pressione d'impatto sulle aree forti del corpo del ricambio e azzerando i picchi di accelerazione sulla zona vulnerabile.

Il superamento del test ha fornito la validazione tecnica definitiva, sbloccando il benestare industriale per il lancio della produzione in serie e la successiva fase di monitoraggio dei flussi sul campo.

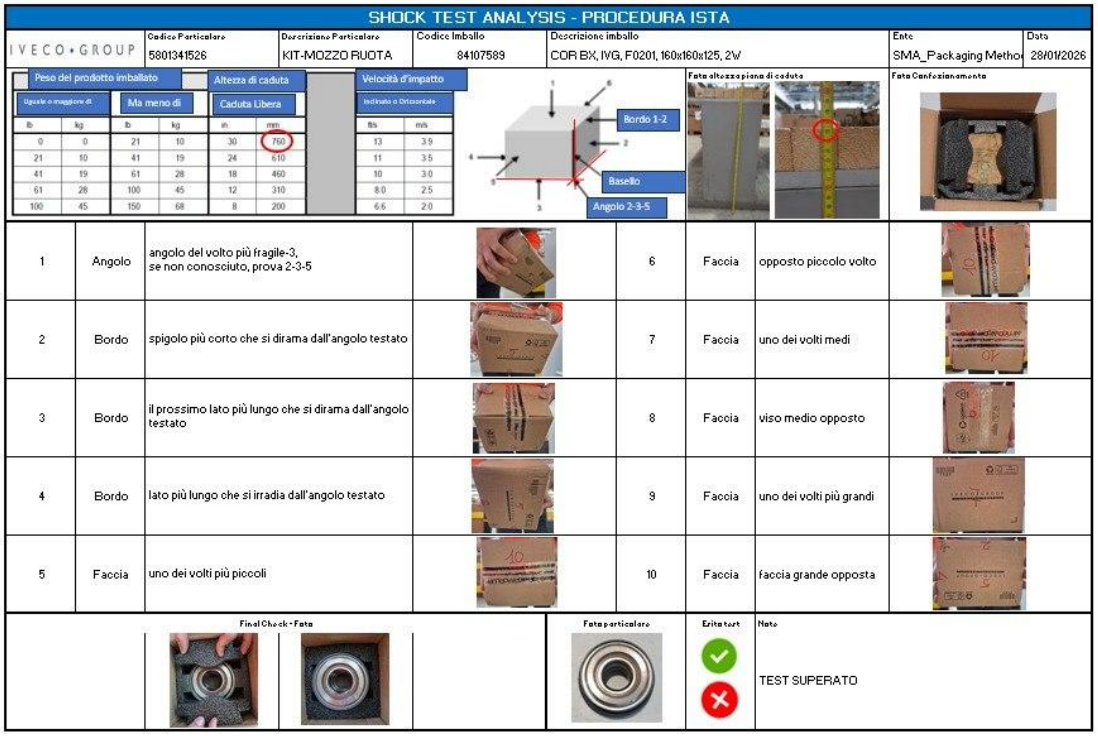


Figura 13 Shock Test Kit Mozzo Ruota

3.3 Analisi dei risultati e valutazioni economiche

Monitoraggio dei Claim Post-Implementazione

A seguito del superamento dei test di laboratorio e dell'ottenimento del benestare tecnico ed economico, la nuova configurazione di imballaggio con inserto in poliuretano espanso è stata introdotta ufficialmente sulla linea di confezionamento del polo di San Mauro Torinese, avviando la produzione in serie del codice.

Trattandosi di un intervento di ingegnerizzazione recente, il progetto si trova attualmente all'interno della sua finestra di monitoraggio early-stage. Questo periodo iniziale è fondamentale per validare sul campo le prestazioni del nuovo standard protettivo, poiché i primi lotti spediti fungono da reali "sensori" lungo le tratte logistiche più gravose verso i depot d'oltremare.

I dati raccolti attraverso i sistemi informativi del reparto Qualità nelle prime settimane successive al lancio evidenziano un trend estremamente positivo: la frequenza di accadimento dei claim per danneggiamento della corona si è attestata a zero. Nonostante il ridotto orizzonte temporale non consenta ancora un'analisi statistica consolidata sul lungo periodo, l'immediato azzeramento delle non-conformità sul campo rappresenta un

forte indicatore preliminare dell'efficacia geometrica e meccanica della soluzione sviluppata.

Il crollo verticale delle contestazioni dei clienti conferma che l'assorbimento elastico del poliuretano sta rispondendo correttamente alle sollecitazioni dinamiche accidentali della movimentazione manuale, blindando il componente e interrompendo la generazione dei costi della non-qualità registrati nella baseline storica.

ROI del progetto

A seguito dell'introduzione in linea del nuovo assetto di confezionamento, il team ha eseguito la consuntivazione economica del progetto basandosi sui volumi consuntivati nell'anno 2025 e sul monitoraggio early-stage dei claim. L'analisi finanziaria (Figura 14) è stata impostata come un bilancio differenziale annuo, confrontando il Costo Totale della Non-Qualità azzerato con l'extra-costo dei nuovi materiali.

I dati storici consolidati del 2025 per il codice in esame evidenziano i seguenti parametri macroscopici:

PN	Descrizione	Volumi anno (2024)	ACTUAL			TO BE			SAVING PROGETTO		
			Costo ausiliari (euro/pz)	Tempo MOD (min/pz)	Costo totale (euro)	Costo ausiliari (euro/pz)	Tempo MOD (min/pz)	Costo totale (euro)	Saving ausiliari (euro)	Saving MoD (euro)	Total Saving (euro)
5801341526	KIT-MOZZO RUOTA	8.944	0,57 €	0,81	8.512 €	0,85 €	0,81	11.052 €	2.540 €	0 €	2.540 €
Totale		**8.944**			**8.512 €**			**11.052 €**	**2.540 €**	**0 €**	**2.540 €**

Figura 14 Tabella Report Saving Progetto

Moltiplicando l'incremento unitario del costo dei materiali per i volumi annui consolidati della famiglia ricambi, l'aggravio di spesa complessivo per l'approvvigionamento del nuovo packaging si attesta intorno ai 2.500 €/anno. A fronte di questo investimento strutturale, il monitoraggio sul campo ha evidenziato l'azzeramento totale dei claim per danneggiamento, traducendosi in un recupero diretto dei costi della non-qualità pari a circa 3.000 €/anno.

Il bilancio economico differenziale dimostra pertanto che il progetto non solo raggiunge e supera il punto di pareggio finanziario (Break-Even Point), ma genera un beneficio economico netto diretto di circa 500 €/anno.

A questo risparmio monetario tangibile si sommano l'abbattimento dei costi occulti di gestione delle anomalie, quali le spese amministrative per l'apertura delle pratiche di reso, i noli di ritorno e i tempi di ri-processamento della merce, e i fondamentali benefici

strategici intangibili, come l'eliminazione dei fermi macchina per i clienti finali e la tutela dell'immagine di affidabilità del marchio IVECO sul mercato dei ricambi.

Dal punto di vista strategico, questo risultato rappresenta un successo: l'azienda è riuscita ad azzerare le non-conformità, a blindare il livello di servizio e a proteggere la propria Brand Equity sul mercato globale senza generare un eccessivo incremento della spesa complessiva di filiera. Il costo inizialmente disperso in rottamazioni e trasporti urgenti è stato riconvertito in valore protettivo per il prodotto.

Criticità, Trade-off Operativi e Benefici di Stoccaggio Logistico

Sotto il profilo della gestione dei materiali, la transizione dall'uso del pluriball generico in bobina alla combinazione accoppiata di scatola su misura e inserto in poliuretano ha imposto l'apertura a sistema informativo di un nuovo codice anagrafico per il materiale ausiliario. Questo passaggio comporta un frazionamento fisico e logico delle scorte a magazzino, in quanto il reparto ha dovuto allocare nuove ubicazioni fisse all'interno delle scaffalature dedicate ai materiali di consumo, strutturando un monitoraggio dedicato dei punti di riordino per prevenire fenomeni di stock-out in linea che causerebbero l'arresto immediato del flusso di confezionamento del ricambio.

Parallelamente, sebbene l'inserto polimerico sia geometricamente intuitivo grazie alla sua struttura a incastro, il cambio radicale di layout ha richiesto un'attività mirata di addestramento e formazione del personale di linea. Gli operatori erano infatti storicamente abituati alla manipolazione flessibile e destrutturata del pluriball, mentre l'allineamento millimetrico richiesto per l'inserimento guidato del mozzo ruota all'interno della sede pre-sagomata in poliuretano esige una gestualità differente e più precisa per evitare forzature meccaniche dell'inserto, generando una fisiologica curva di apprendimento che ha impattato temporaneamente sulla saturazione dei tempi standard e sulla produttività oraria nelle prime fasi di introduzione del nuovo ciclo.

La transizione geometrica tra la configurazione AS-IS e l'assetto TO-BE risponde inoltre a una precisa logica di standardizzazione industriale, le cui metriche dimensionali d'ingombro esterno sono riassunte di seguito:

- Scatola AS-IS (con pluriball): 206 x 176 x 126 mm (Volume unitario lordo: ~0,00457 m^3)

- Scatola TO-BE (con poliuretano): 165 x 165 x 145 mm (Volume unitario lordo: ~0,00395 m^3)

L'analisi differenziale evidenzia una contrazione del volume del singolo collo pari a circa il 13,5%. Sebbene l'incremento dell'altezza verticale da 126 mm a 145 mm, necessario per confinare geometricamente l'inserto in poliuretano attorno alla corona del mozzo, riduca la capacità del contenitore di spedizione Aftermarket da 36 a 30 pezzi unitari, con una flessione della saturazione locale del 16,7%, il vero salto di qualità risiede nell'architettura costruttiva del nuovo imballo, sviluppato secondo lo standard della scatola americana (codice internazionale FEFCO 0201 [16]).

Sotto il profilo dell'ingegneria di processo, il passaggio a una scatola americana standardizzata introduce il concetto fondamentale di automazione del processo. L'adozione dell'inserto in poliuretano espanso garantisce un perfetto confinamento interno del mozzo ruota, mantenendo le pareti della scatola americana rigorosamente ortogonali e stabili. Questa stabilità strutturale sblocca l'industrializzazione del fine linea presso il polo di San Mauro Torinese: il layout costruttivo della scatola FEFCO 0201 può essere così interamente gestito da macchine formatrici di cartoni e nastratrici automatiche, in cui i bracci meccanici provvedono alla piegatura sequenziale dei lembi inferiori e superiori e alla sigillatura standardizzata. L'eliminazione delle costrittive operazioni manuali di formatura e chiusura si traduce in un drastico abbattimento del tempo ciclo unitario (Throughput Time), incrementando la saturazione oraria della linea, azzerando l'errore umano e stabilizzando l'output produttivo dello stabilimento.

In conclusione, il progetto di ingegnerizzazione descritto si qualifica come un intervento esemplare di ottimizzazione integrata all'interno della supply chain Aftermarket di IVECO. Il lavoro dimostra la fattibilità del superamento di un complesso trade-off logistico e industriale: l'adozione del nuovo assetto ha infatti comportato un incremento del costo dei materiali e una parziale riduzione della saturazione del contenitore di spedizione, sceso da 36 a 30 unità, traducendosi in un maggior numero di Unità di Carico e di pallet movimentati lungo la filiera inter-sito. Tuttavia, questa scelta progettuale si è rivelata ampiamente virtuosa poiché l'aggravio logistico viene compensato dall'abbattimento dei costi della non-qualità e dall'efficientamento del processo produttivo.

Parallelamente, i benefici industriali si estendono con vigore all'area della Safety e dell'ingegneria di processo presso il polo di San Mauro Torinese. L'introduzione della scatola americana automatizzabile, resa geometricamente stabile dal confinamento interno del poliuretano, ha permesso di convertire un ciclo di confezionamento manuale, logorante e imprevedibile in un flusso automatizzato e ripetibile. Questo salto tecnologico azzera la variabilità dei tempi di linea, stabilizza l'output dello stabilimento e abbatte il carico biomeccanico degli operatori, eliminando alla radice i rischi di infortunio legati alla manipolazione del pluriball e del pezzo pesante. Il successo dell'iniziativa pilota dimostra quindi come la sinergia interfunzionale tra il team Packaging Methods e il reparto Qualità abbia saputo accettare un trade-off sulla densità di stoccaggio pur di raggiungere la stabilità economica a priori, la sicurezza ergonomica di linea e la totale protezione del prodotto sul mercato globale, definendo un nuovo standard metodologico per i progetti di Continuous Improvement aziendali.

Capitolo 4 - Progetto Supply Chain: Ottimizzazione Volumetrica e Flussi di Filiera

L’innesco del secondo progetto pilota scaturisce dall'esigenza strategica di ottimizzare i flussi logistici end-to-end e razionalizzare la gestione della componentistica ad altissima rotazione e basso valore unitario. Se il caso studio precedente è stato guidato da urgenze qualitative di prodotto, questo intervento nasce da una sinergia tra l'ente Packaging Methods e il management della Supply Chain, con l'obiettivo di superare le storiche inefficienze legate alla gestione "monopezzo" della minuteria metallica.

4.1 Introduzione e Razionale Strategico del Progetto

Il progetto di ridefinizione della Pack Quantity, cioè la quantità di pezzi standard contenuti in un singolo imballo primario, risponde alla necessità di introdurre un metodo scientifico nella gestione della minuteria ad altissima rotazione. Questa famiglia merceologica comprende codici ad alto volume industriale come viti, dadi, bulloni, rondelle e raccorderia metallica leggera, caratterizzati da un valore economico unitario estremamente contenuto.

Per comprendere appieno la rilevanza strategica del progetto, è necessario inquadrare la minuteria metallica leggera all'interno dei modelli classici di gestione delle scorte e dei flussi logistici, con particolare riferimento alla classificazione ABC, derivata dal principio economico di Vilfredo Pareto (regola dell'80/20).

Sotto il profilo strettamente finanziario, la minuteria rappresenta l'archetipo della Classe C. Questa categoria è storicamente caratterizzata da due metriche diametralmente opposte:

- Basso Valore Finanziario: rappresenta una quota marginale (spesso inferiore al 5-10%) del valore economico complessivo dello stock immobilizzato o del fatturato ricambi. Il costo unitario del singolo pezzo è, come visto, estremamente contenuto.
- Altissimo Volume Operativo: sul piano puramente logistico e delle Operations, questi codici costituiscono oltre il 60-70% delle righe d'ordine totali processate e dei pezzi fisici movimentati all'interno delle linee di confezionamento e dei magazzini di picking.

Questo disallineamento strutturale genera quello che in letteratura viene definito il "paradosso della Classe C": articoli che valgono pochissimo dal punto di vista del bilancio aziendale assorbono la maggior parte del tempo, della manodopera e delle risorse fisiche nei nodi della supply chain.

La gestione storica "monopezzo" applicata a questa classe merceologica amplificava drasticamente tale paradosso. Frammentare un codice ad altissima rotazione e basso valore unitario in singole unità significava applicare un elevato costo di transazione logistica (manodopera di insaccamento, tempi macchina, etichettatura, spazio volumetrico) su un prodotto che non poteva in alcun modo assorbire tale costo all'interno del proprio margine economico.

La scelta strategica del team Packaging Methods di focalizzare un progetto di ottimizzazione volumetrica sulla Classe C risponde quindi a una precisa logica di Lean Logistics: poiché non è possibile agire sul valore intrinseco del componente, fisso e ridotto, l'unico modo per estrarre efficienza è minimizzare il costo totale di gestione logistica attraverso la massiccia riduzione dei tocchi fisici (Handling) e la compressione dei tempi ciclo, trasformando la movimentazione frazionata in un flusso aggregato e standardizzato.

Storicamente, la quasi totalità di queste referenze veniva gestita a "pezzo singolo". I componenti, recapitati dai fornitori esterni in forma completamente sfusa all'interno di cassoni industriali, venivano processati nelle linee di imballaggio inserendo ogni singola unità in una busta plastica individuale, sigillata e dotata di un'etichetta barcode dedicata. Questa impostazione era il risultato di una stratificazione storica di processi: nel corso degli anni, l'elevato numero di codici a sistema aveva fatto sì che non venisse mai avviata un'analisi sistematica, part number per part number, volta a mappare i reali fabbisogni della filiera e a definire uno standard rigoroso per l'assegnazione delle quantità ottime. Di conseguenza, l'imballo monopezzo veniva applicato in modo automatico per inerzia procedurale, privilegiando una flessibilità teorica a discapito dell'efficienza industriale.

Per articoli a basso valore e ad alto consumo, la scelta di parcellizzare il confezionamento in buste singole si traduceva in tre gravi macro-inefficienze lungo la supply chain:

- Saturazione delle Linee: sotto il profilo dei tempi e metodi, la gestione monopezzo introduceva un'elevata ripetitività di operazioni a scarso valore aggiunto. Il confezionamento in busta comporta tempi tecnologici fissi, quali il ciclo di

saldatura termica della plastica e l'applicazione dell'etichetta barcode. Processare la minuteria singolarmente costringeva a ripetere queste attese per ogni pezzo; al contrario, il passaggio a pack quantity multiple consente di eseguire un unico ciclo di macchina per un intero lotto (ad esempio, una sola saldatura per 10 pezzi anziché 10 operazioni distinte), ottimizzando la produttività e i tempi della linea.

- Impatto Ambientale e Costo: l'imballo singolo generava un consumo di plastica ed etichette adesive sproporzionato rispetto al volume e al valore intrinseco del componente metallico. Confezionare i pezzi in lotti multipli permette di ridurre drasticamente la superficie complessiva di film plastico utilizzata e di applicare un'unica etichetta identificativa per confezione, abbattendo sia le spese d'acquisto dei materiali ausiliari sia l'impronta ecologica di filiera.
- Collo di Bottiglia nei Magazzini: a valle del flusso, la parcellizzazione monopezzo aumentava l'intensità di manodopera nei magazzini logistici di destinazione che ricevono la merce da San Mauro. Durante la preparazione degli ordini per la rete assistenziale, gli operatori erano costretti a contare e prelevare singolarmente decine di bustine per soddisfare richieste di lotti che, per la natura stessa della minuteria, avvengono quasi sempre per quantità elevate, dilatando i tempi complessivi di spedizione.

L'analisi delle inefficienze sopra descritte ha evidenziato come il passaggio da un modello empirico "monopezzo" a un approccio scientifico basato su lotti multipli non rappresentasse esclusivamente una sfida di natura ingegneristica o puramente logistica. L'introduzione di un nuovo standard industriale impatta inevitabilmente sulla dimensione organizzativa e sui flussi consolidati, innescando dinamiche di resistenza al cambiamento (Change Management) strutturate su più livelli della catena del valore, sia interni sia esterni al perimetro aziendale.

Nel contesto specifico del progetto, le barriere culturali e operative si sono manifestate principalmente secondo tre direttrici critiche:

- La resistenza interna al Polo Produttivo e di Confezionamento di Torino: presso le linee di confezionamento di San Mauro Torinese, l'introduzione delle nuove pack quantity è stata inizialmente accolta con scetticismo da parte delle Operations e dei capireparto. La gestione monopezzo, per quanto inefficiente sotto il profilo dei tempi e metodi, rappresentava una routine consolidata da anni, priva

di variabilità operativa. L'introduzione di lotti differenziati per classe merceologica introduceva il timore di un incremento dell'errore umano in fase di alimentazione della macchina, oltre alla necessità di riconfigurare i parametri tecnologici delle linee di insaccamento (come i tempi di saldatura e la cinematica di caduta). Il timore di un iniziale calo della produttività (learning curve effect) ha generato una parziale rigidità nei reparti produttivi, che tendevano a difendere lo status quo in nome di una linearità operativa teorica.

- L'opposizione logistica dei Magazzini di Distribuzione: il nodo conflittuale più acuto in termini di flussi interni ha riguardato i magazzini di destinazione della rete logistica IVECO. La prospettiva di modificare la pack quantity a sistema sollevava un problema operativo immediato e fortemente gravoso: la gestione dello stock pregresso. I responsabili dei Depot paventavano il rischio di dover avviare imponenti e dispendiose attività straordinarie di "sbustamento" manuale. Senza una strategia di transizione coordinata, i magazzini avrebbero dovuto prelevare decine di migliaia di confezioni monopezzo già stoccate a scaffale, aprirle singolarmente e riconfezionarle nei nuovi formati multipli per garantire l'allineamento inventariale. Questo scenario, vissuto come un travaso di inefficienza e di costi di manodopera dalle linee di Torino ai magazzini periferici, ha inizialmente generato un forte ostruzionismo da parte dei manager logistici della rete outbound.
- Le lamentele commerciali della Rete di Vendita: muovendosi verso l'esterno della supply chain, l'impatto psicologico ed economico ha toccato direttamente la rete delle officine autorizzate e dei dealer. Il passaggio ai lotti multipli ha comportato l'introduzione di vincoli d'acquisto rigidi: il cliente non poteva più ordinare il singolo bullone o la singola rondella, ma era costretto ad acquistare l'intero pacchetto standardizzato. Sotto il profilo finanziario, ciò si traduceva in un incremento immediato del prezzo della singola riga d'ordine. Molti dealer di dimensioni medio-piccole hanno manifestato forti resistenze, lamentando sia l'esborso finanziario maggiorato per codici a basso valore, sia il rischio di subire un fenomeno di immobilizzazione finanziaria e fisica, accumulando stock nei propri magazzini locali per componenti di cui necessitavano solo poche unità.

La comprensione di queste frizioni, riconducibili al timore di una perdita di flessibilità e all'aggravio di costi immediati a fronte di benefici differiti nel tempo, ha spinto il gruppo

di lavoro a non imporre il modello in modo top-down. Al contrario, si è resa necessaria la strutturazione di una strategia di mediazione e validazione scientifica capace di dimostrare numericamente il bilancio win-win del progetto, disinnescando i dubbi operativi dei nodi logistici e mitigando l'impatto commerciale sulla rete esterna tramite l'applicazione di filtri economici rigorosi.

Analisi FMEA ex-post e avvio del progetto Kaizen

Al fine di supportare teoricamente la bontà del passaggio dal confezionamento monopezzo a quello multiplo, è stata introdotta in questa sede una FMEA di processo (PFMEA). Questo approccio analitico ha l'obiettivo di dimostrare come la gestione storica "monopezzo", pur non presentando rischi di fragilità sul prodotto, introducesse un livello di rischio operativo e di inefficienza di filiera non tollerabile per un network logistico moderno.

Nel contesto della gestione della Classe C, il modo di guasto analizzato non risponde a rotture del pezzo, ma a deviazioni rispetto allo standard di efficienza delle Operations. Il rischio principale risiede nella saturazione e nel blocco delle linee automatiche dovuto all'elevata intensità di cicli macchina ripetitivi, con il conseguente effetto di generare colli di bottiglia, dilatare i tempi ciclo e incrementare l'errore umano nel conteggio manuale dei pezzi sciolti durante il picking outbound nei Depot remoti.

- La Gravità (S) dell'impatto sul sistema logistico globale è valutata 5: non blocca l'operatività del cliente finale, ma genera un forte aggravio sui costi operativi e ritardi cumulati nella preparazione degli ordini urgenti.
- L'Accadimento (O) si attesta al valore critico di 9: la parcellizzazione monopezzo forza la macchina e l'operatore a ripetere il 100% dei cicli fissi per ogni singola unità, rendendo l'inefficienza e lo spreco di film plastico ed etichette un evento sistematico e quotidiano lungo i flussi ad alta rotazione.
- La Rilevabilità (D) è stimata pari a 6: le micro-inefficienze temporali e gli sfridi di plastica sono difficilmente intercettabili in tempo reale dai sistemi di monitoraggio classici, venendo rilevati solo a consuntivo tramite gli scostamenti di budget a fine mese.

$$\mathrm{RPN}_{\text{AS-IS}} = 5 \times 9 \times 6 = 270$$

L'indice RPN pari a 270 supera la soglia critica di 100, convenzionalmente assunta come riferimento metodologico in accordo con gli standard internazionali AIAG per il

comparto automotive. Questo valore numerico evidenzia la convergenza di fattori di inefficienza e fornisce la giustificazione analitica per l'apertura di uno Standard Kaizen focalizzato sulla compressione dei costi di transazione logistica e sull'eliminazione dei Muda di processo lungo l'intera catena logistica.

4.2 Il Modello di Selezione: Criteri e Matrice

Per trasformare la gestione della minuteria da un approccio empirico a un processo standardizzato, il team Packaging Methods ha sviluppato un algoritmo di selezione sequenziale implementato su piattaforma Microsoft Excel. L'obiettivo della matrice decisionale è stato quello di filtrare l'anagrafica articoli complessiva dei Part Number e calcolare, per ciascun codice idoneo, la nuova quantità ottimale per confezione.

Il modello si basa sull'applicazione di tre filtri rigidi (Grafico 5), che integrano vincoli commerciali, vincoli fisici di stabilimento e considerazioni statistiche sulla domanda logistica.

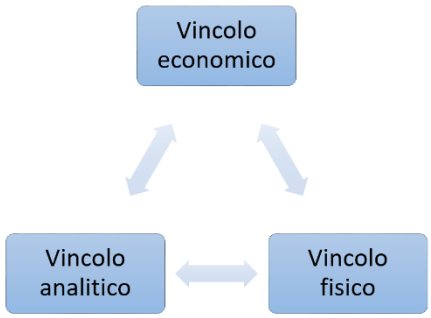


Grafico 5 Vincoli del progetto

1. Vincolo Economico (Soglia di Valore Unitario): il primo sbarramento inserito nella matrice seleziona esclusivamente i componenti con un costo industriale unitario $P_{unitario}$ inferiore a 3,00 €. Questo criterio risponde a una duplice esigenza, logistica e commerciale. Sotto il profilo puramente logistico, i pezzi posizionati al di sotto di questa soglia d'acquisto sono quelli in cui l'incidenza economica dell'imballo monopezzo, composta dal costo vivo del film plastico e dell'etichetta termica, risulta percentualmente più gravosa sul valore intrinseco del ricambio. Quando il valore unitario del componente è dell'ordine di pochi centesimi, il costo del packaging As-Is può rappresentare una quota eccessivamente elevata del costo

totale di industrializzazione del pezzo, superando il limite percentuale definito dall'azienda per garantire la sostenibilità economica della soluzione di confezionamento.

Sotto il profilo commerciale e di pricing, il limite impedisce derive incontrollate sul prezzo finale della nuova confezione multipla. La determinazione del prezzo al pubblico per la rete IVECO segue una logica moltiplicativa basata sui margini di filiera. Se definiamo la nuova quantità di pezzi per confezione con la variabile Q, il prezzo teorico della singola busta multipla destinata al mercato P_{pack} può essere formalizzato secondo la seguente equazione:

$$P_{pack} = Q \times (P_{unitario} \times \alpha)$$

Dove α rappresenta il coefficiente di ricarico (markup) applicato dalla direzione commerciale lungo la rete dei dealer. Poiché il prezzo di vendita al cliente finale è superiore al puro costo industriale unitario, l'accorpamento di un numero eccessivo di pezzi a valore medio-alto genererebbe un costo complessivo della singola busta sproporzionato.

In termini di psicologia del consumatore e di politiche di canale, come già accennato precedentemente, superare una determinata "soglia psicologica" percepita dalle officine della rete assistenziale, stimata empiricamente intorno ai 30,00 € per una singola confezione di minuteria, provocherebbe forti ritrosie, lamentele e ostruzionismo commerciale. I dealer e i riparatori autorizzati si troverebbero costretti a un esborso finanziario non gradito e a un sovraccarico di stock locale per l'acquisto di un singolo lotto standard, compromettendo la fluidità delle vendite dei ricambi originali.

2. Vincolo Fisico (Portata Meccanica dell'Imballo Primario): il secondo filtro introduce un vincolo tecnico-strutturale e cinematico strettamente legato alla tipologia di materiale di consumo utilizzato sulle linee di confezionamento automatizzate di San Mauro Torinese. Le buste plastiche standard impiegate per il confezionamento della minuteria sono realizzate in Polietilene a Bassa Densità (LDPE - Low-Density Polyethylene), con uno spessore nominale standardizzato pari a 0,05 mm. Questo materiale è caratterizzato da precise proprietà fisico-meccaniche, tra cui una determinata resistenza alla perforazione (puncture resistance) e alla trazione longitudinale prima dello snervamento.

Per comprendere l'origine della soglia critica di 350 grammi, che rappresenta il limite massimo di peso complessivo consentito all'interno di una singola busta, è necessario analizzare la dinamica e le sollecitazioni meccaniche imposte dalle macchine imbustatrici verticali, note come sistemi Autobag verticali, impiegate nello stabilimento. Il ciclo operativo di questi macchinari si basa su un flusso continuo in cui l'operatore di linea preleva i componenti sfusi dal cassone industriale e li inserisce manualmente, o tramite scivoli vibranti, all'interno dell'imboccatura superiore della macchina. I pezzi vengono letteralmente lanciati e cadono per gravità verticalmente all'interno della busta plastica, che in quel preciso momento viene tenuta aperta da un getto calibrato di aria compressa. In questa fase di alimentazione, l'impatto della minuteria metallica, spesso caratterizzata da spigoli vivi, filettature pronunciate o profili taglienti, come nel caso di viti ad alta resistenza e dadi pesanti, si concentra interamente sul fondo della busta, generando uno stress localizzato da perforazione.

Immediatamente dopo l'alloggiamento dei pezzi, il ciclo prevede la chiusura termica delle barre saldanti della macchina per sigillare il lembo superiore della busta ed effettuarne contemporaneamente il taglio dal film continuo. Nella fase di saldatura termica, il carico dei pezzi sollecita la porzione inferiore del film plastico proprio mentre il materiale, ancora caldo, risulta strutturalmente più debole. Una volta completato il taglio, la busta sigillata viene rilasciata dalla macchina e subisce una seconda sollecitazione dinamica, cadendo per gravità da un'altezza di circa 30-40 centimetri direttamente su un nastro trasportatore, che ha il compito di convogliare il prodotto finito verso i contenitori di raccolta finale. Questo secondo impatto genera una forza d'inerzia repentina che si scarica sulle saldature laterali e sul fondo dell'imballo.

L'interazione di queste forze spiega perché, qualora il peso complessivo del lotto superi la soglia limite dei 350 grammi, l'energia cinetica accumulata dai pezzi metallici superi la resistenza alla trazione del film da 0,05mm. Il rischio concreto è il manifestarsi del fenomeno dello sfondamento o della lacerazione della plastica, con conseguente fuoriuscita del materiale, generazione di scarti e interruzione della linea produttiva. Inoltre, l'accumulo di pesi superiori creerebbe colli di bottiglia sul rullo trasportatore, compromettendo i parametri ergonomici di movimentazione dei contenitori di raccolta a fine linea. I test di laboratorio e le sessioni di Drop Test, condotti simulando cadute libere per replicare gli scossoni

logistici del trasporto verso la rete distributiva, hanno confermato che la soglia dei 350 grammi rappresenta il limite superiore invalicabile per garantire l'integrità strutturale del packaging.

L'algoritmo della matrice calcola quindi il peso complessivo del lotto moltiplicando il peso proprio unitario del singolo part number, estratto direttamente dall'anagrafica tecnica aziendale, per la quantità ipotizzata, applicando rigidamente la condizione per cui

$$W_{lotto} = W_{unitario} \times Q \leq 350\ g$$

3. Vincolo Statistico (Analisi dei Volumi Storici): il terzo e ultimo filtro governa la reale convenienza logistica e l'efficienza gestionale dell'operazione tramite l'analisi statistica della domanda e dei consumi storici consolidati nell'anno precedente. Introdurre un imballo multiplo ha senso logico, economico e industriale solo se il ricambio è caratterizzato da un'alta frequenza d'ordine e da volumi stabili a livello globale.

   Se un determinato codice registra volumi minimi, confezionare quei pezzi all'interno di un unico lotto multiplo configurerebbe un grave errore di Inventory Management. Si andrebbero a immobilizzare le pochissime scorte disponibili a sistema in un unico nodo, azzerando la flessibilità distributiva e la capacità di risposta del servizio ricambi qualora più magazzini periferici nel mondo richiedessero contemporaneamente una sola unità per fermi macchina urgenti.

Una volta superati i tre filtri descritti, il modello applica una regola di chiusura matematica finalizzata a preservare l'omogeneità dei flussi logistici e a facilitare le operazioni di controllo visivo lungo l'intera filiera. Il team Packaging Methods ha infatti codificato un paniere ristretto e rigido di Pack Quantity Standard, corrispondente ai lotti da P = {1, 2, 5, 10, 15, 20, 25} pezzi. Per evitare la proliferazione di imballi con quantità anomale, il risultato del calcolo teorico ($Q_{teorica}$) viene sistematicamente approssimato per difetto alla classe standard immediatamente inferiore tramite l'applicazione della funzione matematica Floor applicata all'insieme dei vettori standard

$$Qottima = \max\{\, p \in P \mid p \leq Qteorica\}$$

Questa scelta metodologica garantisce la massima prevedibilità e ripetitività in linea di produzione. Gli operatori dello stabilimento di San Mauro lavorano su ritmi di riempimento e configurazioni visive standardizzate. La manipolazione di lotti a conteggio

costante riduce drasticamente l'errore umano dovuto alla distrazione o alla gestione di lotti con conteggi insoliti o variabili, implementando una logica di standardizzazione dei processi tipica delle architetture World Class Manufacturing (WCM).

La logica di calcolo e l'interazione tra questi tre filtri sono visibili nella struttura della matrice decisionale sviluppata dal team, di cui si riporta un estratto applicativo nella figura sottostante (Figura 15).

PACK QUANTITY									
Volume anno	8.900	PACK QTY DEFINITION							
STD Cost	0,07 €	STD COST (euro)							
Peso unit. (gr)	70,00								
E	B	0-0,05	0,05-0,10	0,11-0,25	0,26-0,50	0,51-1,00	1,01-1,50	1,51-3,00	>3,00
PACK QTY >>	5	A	B	C	D	E	F	G	H
0-50	A	5	5	5	2	2	2	1	1
51-100	B	10	5	5	5	5	2	1	1
101-1000	C	10	10	10	5	5	5	2	1
1001-5000	D	15	15	15	10	10	5	2	1
5001-10000	E	20	20	15	10	10	5	5	1
10001-25000	F	25	20	20	15	10	10	5	1
25001-50000	G	25	25	20	15	10	10	5	1
>50000	H	25	25	25	20	15	10	5	1

Figura 15 Tabella calcolo Pack Quantity

Come evidenziato dallo strumento di calcolo, l'incrocio simultaneo dei parametri consente di standardizzare le decisioni di filiera, associando a ciascun codice di minuteria una configurazione di imballo ottimale e scientificamente giustificata.

4.3 Industrializzazione del Processo: Validazione Tecnica e Gestione dello Stock Transitorio

Prima di estendere le nuove pack quantity all'intera rete distributiva, come già sottolineato, il team ha dovuto strutturare una complessa fase pilota operativa per validare l'impatto del nuovo assetto sia sulle linee di confezionamento di San Mauro Torinese, sia sui livelli di stock dei magazzini di destinazione (Depot). Questa fase ha richiesto la combinazione di azioni a sistema e verifiche fisiche in officina.

Blocco Ingressi a Sistema e Validazione Fisica in Linea

Il primo passo operativo è consistito nel blocco a sistema gestionale di tutti i Part Number identificati come idonei dal modello di calcolo. Una volta "congelati" i codici per evitare

l'alimentazione automatica delle linee, il team ha avviato una procedura di validazione empirica, facendo processare i parts uno a uno dagli operatori del team.

Questa verifica sul campo è stata fondamentale per mappare i vincoli impiantistici e strutturali reali, non rilevabili dalle sole schede tecniche:

- Saturazione volumetrica della busta: verificare se l'inserimento di più pezzi creasse un ingombro tale da impedire la corretta chiusura termica della busta precedentemente utilizzata.
- Cambiamento del ciclo macchina: l'aumento di peso dovuto al lotto multiplo ha modificato in molti casi la cinematica di insaccamento. Per alcuni codici si è reso necessario spostare il flusso produttivo dalle macchine Autobag Verticali alle macchine Autobag Orizzontali, riconfigurando i parametri di setup e i tempi ciclo macchina.

Strategia di Decadimento dello Stock e Collaborazione con i Depot

La criticità operativa più rilevante ha riguardato la gestione del materiale monopezzo già stoccato presso i magazzini di destinazione della rete IVECO. Convertire immediatamente i codici a sistema avrebbe imposto un'attività straordinaria insostenibile: sconfezionare manualmente decine di migliaia di bustine singole nei vari centri di distribuzione per poi riconfezionarle in lotti multipli.

Per aggirare questo collo di bottiglia, il team Packaging Methods, in collaborazione con i responsabili logistici dei vari Depot, ha definito una soglia target di attivazione fissata a un massimo di 300 pezzi residui a magazzino.

La procedura ha funzionato secondo la seguente logica: i pezzi in ingresso a San Mauro, sebbene già bloccati e pronti per il nuovo layout, sono stati trattenuti in un buffer temporaneo di attesa per il tempo necessario. Durante questo periodo di transizione, il sistema ha lasciato che il mercato assorbisse lo stock monopezzo residuo nei magazzini fino a far scendere la giacenza sotto la soglia critica dei 300 pezzi. Solo al raggiungimento del target, il lotto bloccato a San Mauro veniva rilasciato, inviato alla linea per la validazione fisica su macchina Autobag e infine spedito ai magazzini nel nuovo formato standardizzato.

Questa strategia di assorbimento controllato dello stock ha ridotto drasticamente i costi operativi di ri-lavorazione straordinaria nei magazzini periferici, dimostrando come un

progetto di ingegnerizzazione del packaging richieda una pianificazione temporale coordinata per tutelare l'efficienza economica globale dell'azienda.

4.3 Analisi degli Impatti nei Nodi della Supply Chain

L'introduzione della matrice di calcolo e la standardizzazione delle nuove *pack quantity* hanno riconfigurato i flussi operativi lungo l'intero network logistico. Per valutare appieno l'efficacia del progetto, l'analisi degli impatti deve essere scomposta nei due macro-nodi della filiera: il polo di confezionamento centralizzato (fase di *Inbound Process*) e i magazzini di distribuzione dislocati sulla rete (fase di *Outbound Process*).

Benefici nel Polo di Confezionamento di San Mauro (Inbound Process)

All'interno delle linee di imballaggio, i benefici si riflettono immediatamente sulla principale leva strategica delle Operations di stabilimento: l'ottimizzazione dei tempi ciclo e l'efficientamento della capacità produttiva installata.

- Efficientamento della Produttività di Linea e Analisi dei Tempi e Metodi: il passaggio dal confezionamento monopezzo a lotti multipli standardizzati genera una drastica contrazione dei tempi tecnologici fissi macchina e delle micro-mosse dell'operatore. Sotto il profilo dell'ingegneria industriale, il ciclo operativo di confezionamento di una busta flessibile sulle macchine verticali Autobag prevede una sequenza di operazioni standard che risultano matematicamente indipendenti dal numero di pezzi fisici inseriti all'interno dell'imballo. Queste sotto-fasi comprendono l'apertura pneumatica del film tramite getto d'aria, il riempimento, la saldatura termica delle barre, il taglio e l'applicazione automatica dell'etichetta barcode identificativa. Confezionare la minuteria in lotti predefiniti consente di applicare una strategia di ripartizione di questi tempi fissi tecnologici su un volume di prodotto N volte superiore. L'operatore e la macchina eseguono un solo ciclo di saldatura e di attesa tecnologica anziché subire N ripetizioni distinte, azzerando i tempi morti e innalzando l'output orario complessivo della postazione.

Per comprendere la radice di questo guadagno di produttività, il team ha mappato i flussi attraverso lo studio dei micromovimenti, isolando i tempi variabili (legati alla manipolazione fisica dei componenti metallici) dai tempi tecnologici fissi (legati alla cinematica interna del macchinario Autobag). Mentre il tempo di prelievo e lancio varia leggermente in base alla numerosità del lotto, il tempo di termosaldatura e di stampa del

codice a barre rappresenta un vincolo strutturale rigido e completamente incomprimibile: la macchina impiega la stessa frazione di secondo sia per sigillare una busta monopezzo sia per chiudere un lotto da 25 pezzi. Massimizzare il riempimento della busta permette di saturare la capacità produttiva dell'impianto, come evidenziato nella tabella di mappatura standard dei micromovimenti di linea riportata di seguito (Figura 16).

Figura 16 Tabella Tempi Autobag Verticali

AB1 - CONFEZIONAMENTO IN BUSTA AUTOBAG			Quantità componenti per confezione															
			1		2		5		10		20		25		1		2	
Q.tà lotto produzione = 100 PZ			imbustare		imbustare		imbustare		imbustare		imbustare		imbustare		riposizionare ed imbustare		imbustare	
Descrizione operazione	Tempo totale (min)	%	Qtà x freq	Tempo unitario (min)	Qtà x freq	Tempo unitario (min)	Qtà x freq	Tempo unitario (min)	Qtà x freq	Tempo unitario (min)	Qtà x freq	Tempo unitario (min)	Qtà x freq	Tempo unitario (min)	Qtà x freq	Tempo unitario (min)	Qtà x freq	Tempo unitario (min)
010_01 Disimballo scatola cartone	0,787	100%	0,010	0,008	0,010	0,008	0,010	0,008	0,010	0,008	0,010	0,008	0,010	0,008	0,010	0,008	0,010	0,008
020_01 Rifornire particolare su banco	0,118	-		-		-		-		-		-		-		-		-
020_02 Rifornire particolari small su banco (qtà=2)	0,070	-		-		-		-		-		-		-		-		-
030_01 Leggere informazioni ciclo	0,595	100%	0,010	0,006	0,010	0,006	0,010	0,006	0,010	0,006	0,010	0,006	0,010	0,006	0,010	0,006		0,000
050_01 Imbustare N.1 particolare	0,073	100%	1,000	0,073	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,000	0,073	-	-
050_02 Imbustare N.2 particolari	0,082	100%	-	-	0,500	0,041	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,500	0,041
050_03 Imbustare N.5 particolari	0,136	100%	-	-	-	-	0,200	0,027	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
050_04 Imbustare N.10 particolari	0,218	100%	-	-	-	-	-	-	0,100	0,022	-	-	-	-	-	-	-	-
050_05 Imbustare N.20 particolari	0,339	100%	-	-	-	-	-	-	-	-	0,050	0,017	-	-	-	-	-	-
050_06 Imbustare N.25 particolari	0,461	100%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,040	0,018	-	-	-	-
050_07 Riposizionare particolare in busta	0,034	100%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,000	0,034	1,000	0,034
100_01 Depositare e prelevare odette	0,178	100%	0,033	0,006	0,017	0,003	0,007	0,001	0,003	0,001	0,002	0,000	0,001	0,000	0,033	0,006	0,017	0,003
100_02 Sistemare confezioni in cassetta odette	0,394	100%	0,100	0,039	0,050	0,020	0,020	0,008	0,010	0,004	0,005	0,002	0,004	0,002	0,100	0,039	0,050	0,020
110_01 Stampare ed applicare picking ticket	0,256	100%	0,040	0,010	0,020	0,005	0,008	0,002	0,004	0,001	0,002	0,001	0,002	0,000	0,040	0,010	0,020	0,005
				0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000
Sostituzione bobina autobag (f=1/1500)	5,000	100%	0,001	0,003	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,000	0,002
Sostituzione rotolo stampante (f=1/7500)	3,500	100%	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
				0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000
Pulizia e riordino posto di lavoro	2%			0,003		0,002		0,001		0,001		0,001		0,001		0,004		0,002
COSTO UNITARIO CONFEZIONAMENTO (min/pz)			0,149		0,086		0,054		0,042		0,034		0,035		0,184		0,115	
PRODUZIONE ORARIA			402		696		1112		1415		1744		1698		326		523	
PRODUZIONE TURNO (con pause collettive regolamentate pari a 40 min/turno)			2750		4757		7599		9672		11914		11606		2231		3571	

Come emerge chiaramente dai rilievi cronometrici effettuati in linea, l'allineamento alle classi standard del paniere decisionale ha permesso di incrementare significativamente l'output orario della postazione. La riduzione dei cicli totali di saldatura e taglio per unità equivalente contrae il tempo ciclo medio di stabilimento, ottimizzando il bilanciamento della linea senza saturare o stressare i ritmi ergonomici degli operatori, i quali beneficiano di una sequenza di movimenti più fluida, ripetitiva e standardizzata in pieno accordo con i principi del World Class Manufacturing.

Benefici nei Magazzini di Distribuzione IVECO (Outbound Process)

Mentre il polo di confezionamento beneficia della velocizzazione dei tempi macchina, è nei magazzini di distribuzione che il progetto sblocca il suo massimo valore economico.

- Contrazione delle Righe d'Ordine e dei Tempi di Picking: nei magazzini che distribuiscono i ricambi alla rete dei dealer e delle officine, la preparazione degli ordini di minuteria è storicamente un'attività ad altissima intensità di manodopera. Se un'officina ordina un lotto di 100 bulloni per un intervento correttivo su un veicolo industriale, la gestione monopezzo costringeva l'operatore logistico a prelevare, contare e scansionare 100 bustine individuali, oppure a effettuare molteplici micro-prelievi manuali dallo scaffale. Con le nuove pack quantity standardizzate, l'operatore deve prelevare meno confezioni integre. Il tempo di viaggio e di manipolazione all'interno del magazzino si riduce linearmente, velocizzando l'evasione degli ordini urgenti.
- Azzeramento degli Errori di Conteggio e Controllo Visivo: contare manualmente tantissime micro-bustine di plastica sfuse durante la fase di picking o di smistamento merci all'arrivo introduce un elevato rischio di errore umano. L'allineamento alle classi standard trasforma il controllo in un processo Poka-Yoke visivo: l'operatore riconosce all'istante l'integrità del lotto dal formato della confezione e conta i multipli a colpo d'occhio. Ciò azzera le anomalie inventariali e i costi logistici di ritorno legati a spedizioni errate, blindando l'affidabilità del servizio assistenziale IVECO.

4.4 Bilancio Economico Differenziale e Consuntivazione dei Benefici

Per quantificare il ritorno economico complessivo del progetto e dimostrarne la sostenibilità strategica al Management, è stata eseguita una consuntivazione analitica basata sui volumi storici consolidati nell'anno 2025. L'analisi finanziaria adotta una logica di contabilità industriale differenziale, isolando e tenendo nettamente separati i risparmi interni generati nel polo di confezionamento centralizzato dai benefici logistici di processo riscontrati nei magazzini di distribuzione dislocati a valle della filiera.

Impatto Economico Diretto nel Polo di San Mauro (Materiali e Manodopera)

Il primo blocco del bilancio analizza i costi operativi interni di trasformazione e confezionamento. Per ciascun Part Number (PN_i) oggetto di revisione della pack quantity, il risparmio annuo generato all'interno dello stabilimento di San Mauro Torinese $\left(\Delta C_{\text{SanMauro}_i}\right)$viene formalizzato ed espresso secondo la seguente equazione differenziale:

$$\Delta C_{\text{SanMauro}_i} = \left(\Delta C_{\text{mat_unitario}_i} + \Delta C_{\text{manodopera_SanMauro}_i}\right) \times V_{2025_i}$$

Il primo addendo della formula, rappresentato dal delta costo dei materiali, esprime il risparmio netto sul materiale di consumo ausiliario, nello specifico il film plastico in LDPE e le etichette termiche a codice a barre. Sotto il profilo matematico, questa voce viene calcolata sottraendo al costo del vecchio packaging monopezzo la quota-parte del costo della nuova confezione multipla allocata sul singolo pezzo:

$$\Delta C_{\text{mat_unitario}_i} = C_{\text{mat_AsIs}_i} - \frac{C_{\text{mat_ToBe}_i}}{Q_{\text{ottima}_i}}$$

Il secondo addendo, relativo al delta costo della manodopera, rappresenta il guadagno di produttività derivante dall'abbattimento dei tempi tecnologici fissi di linea, quali i cicli di saldatura termica della busta, il tempo di riempimento e la fase di labeling. Questa voce viene monetizzata traducendo i secondi di tempo ciclo risparmiati per singola unità sulla base del costo orario standard della manodopera diretta dello stabilimento di San Mauro Torinese $\left(C_{\text{orario_SM}}\right)$:

$$\Delta C_{\text{manodopera_SanMauro}_i} = \left(T_{\text{ciclo_AsIs}_i} - \frac{T_{\text{ciclo_ToBe}_i}}{Q_{\text{ottima}_i}}\right) \times C_{\text{orario_SM}}$$

Il risparmio unitario totale così ottenuto viene infine proiettato sul volume complessivo $\left(V_{2025_i}\right)$, ovvero sulla quantità totale di pezzi movimentati e confezionati per lo specifico codice nell'anno solare 2025, determinando il beneficio ricorrente di stabilimento.

Benefici di Processo nei Magazzini di Distribuzione IVECO (Tempo di Picking)

Il secondo blocco del bilancio economico quantifica il valore estratto lungo i nodi della supply chain posizionati a valle, un beneficio strutturale completamente slegato dai costi di trasformazione di San Mauro ma generato direttamente dal cambio di configurazione fisica del prodotto in spedizione. Il risparmio annuo di movimentazione nei magazzini e nei Depot della rete $\left(\Delta C_{\text{Picking}_i}\right)$ risponde alla seguente formula di calcolo:

$$\Delta C_{\text{Picking}_i} = \Delta C_{\text{picking_Magazzini}_i} \times V_{2025_i}$$

Il parametro differenziale del costo di movimentazione $\left(\Delta C_{\text{picking_Magazzini}_i}\right)$ monetizza il tempo risparmiato dagli operatori logistici nei centri di distribuzione remoti durante le attività di outbound. Grazie al crollo delle righe d'ordine, determinato dal passaggio dal prelievo frazionato di singole bustine al prelievo rapido ed efficiente dei lotti standardizzati da tot pezzi, il tempo di viaggio all'interno delle corsie, la manipolazione fisica e il conteggio manuale nelle baie di picking si riducono linearmente. Questo efficientamento abbatte il costo di transazione logistica per singolo pezzo ordinato dalla rete assistenziale e dai dealer di zona.

L'Impatto delle Attività Straordinarie di Sconfezionamento

Al fine di garantire l'assoluta precisione scientifica del modello finanziario, l'algoritmo non può limitarsi a sommare i flussi operativi positivi, ma deve integrare l'impatto economico delle attività straordinarie e transitorie necessarie per l'avviamento del nuovo standard. L'introduzione dei lotti multipli ha infatti imposto un'attività gravosa di riallineamento inventariale per lo stock monopezzo residuo già stoccato a scaffale nei vari Depot periferici. Questo elemento di spesa una tantum, definito come Costo di Rilavorazione Straordinaria $\left(C_{\text{Rilavorazione}_i}\right)$,descrive il costo vivo per l'apertura manuale delle vecchie bustine singole e il loro successivo riconfezionamento in lotti multipli standard, ed è espresso dalla formula:

$$C_{\text{Rilavorazione}_i} = Q_{\text{residua}_i} \times \left(T_{\text{sconfezionamento}} + T_{\text{riconfezionamento}}\right) \times C_{\text{orario_Magazzino}}$$

Dove la variabile Q_{residua_i}rappresenta la quantità fisica di pezzi (fregiata del vincolo della soglia target dei 300 pezzi) presenti nel magazzino al momento dell'avvio operativo della soluzione To-Be, mentre i tempi (T) esprimono le frazioni di ora impiegate dagli operatori per convertire manualmente lo stock As-Is nel nuovo layout, valorizzate al costo orario pieno della manodopera logistica di destinazione $\left(C_{\text{orario_Magazzino}}\right)$.

Trade-off per il Management e Sintesi del Modello Finanziario

Presentare al Management questa netta separazione tra flussi finanziari è stato l'argomento decisivo per superare le obiezioni iniziali legate ai costi di avviamento e alle resistenze organizzative analizzate nei paragrafi precedenti. Introducendo il Costo di Rilavorazione all'interno del bilancio consolidato, l'algoritmo di calcolo del Saving Totale $\left(\text{Saving}_{\text{Tot_Anno1}}\right)$assume la seguente configurazione matematica formale:

$$\text{Saving}_{\text{Tot_Anno1}} = \sum_{i=1}^{n} \left[\left(\Delta C_{\text{SanMauro}_i} + \Delta C_{\text{Picking}_i} \right) \times V_{2025_i} \right] - \sum_{i=1}^{n} C_{\text{Rilavorazione}_i}$$

Per gli anni di esercizio successivi (Anno t > 1), esaurito l'effetto transitorio dello stock pregresso e azzerati i costi straordinari di rilavorazione una tantum, il beneficio economico strutturale a regime si stabilizza e si allinea alla sommatoria dei soli saving differenziali operativi e ricorrenti:

$$\text{Saving}_{\text{Regime}} = \sum_{i=1}^{n} \left[\left(\Delta C_{\text{SanMauro}_i} + \Delta C_{\text{Picking}_i} \right) \times V_{t_i} \right]$$

Mettendo sui piatti della bilancia il modello dimostra come l'iniziativa sia dotata di un'altissima redditività.

Estratto Applicativo del Modello di Calcolo ed Evidenze dei Risultati

Per fornire un riscontro empirico del funzionamento analitico del modello implementato su Excel, si riporta un estratto applicato a un panel diversificato di codici ricambio ad alta rotazione. Sotto il profilo metodologico, si specifica che la consuntivazione dei dati reali si focalizza esclusivamente sul perimetro di San Mauro Torinese. La scelta di escludere il calcolo dei saving logistici nei Depot della rete outbound è legata alla complessità geografica del network globale IVECO: la raccolta e l'aggregazione dei costi di manodopera e dei tempi di picking di decine di magazzini internazionali avrebbe introdotto una forte frammentazione e un elevato rischio di errore statistico nel modello finanziario. Al contrario, il polo di Torino rappresenta sia il centro tecnologico in cui avvengono le attività di confezionamento, sia il nodo centrale in cui si concentra la quasi totalità dei flussi fisici di minuteria, rendendo i dati qui rilevati certi, verificabili e ampiamente rappresentativi dell'efficacia del progetto.

Al fine di mostrare visivamente la transizione geometrica ed economica dei parametri calcolati dall'algoritmo, la tabella sottostante (Figura 16) propone un campionamento

mirato di pochissimi Part Number significativi. Questo estratto analitico evidenzia l'esatto excursus finanziario riga per riga, mettendo a confronto diretto la situazione storica e il nuovo assetto ottimizzato per singola tipologia di componente metallico.

Articolo	Descrizione	Codice confezione	Quantita x Confezione	Peso (gr)	Valore acquisto (eur	Cycle Time (min/p	Costo Materiali ACTUA	Costo MOD ACTUA	Totale Costo Packaging ACTUA	Produzione YEAR -1 (pz)	NEW Pack Qty	NEW Cycle Time (min/p	NEW Costo MOD	NEW Costo Materi	Total Saving year	Note
16674734	VITE TESTA ESAGONA	84108017	1	33,0	0,084	0,149	0,030 €	0,077 €	0,107 €	41633	10	0,042	0,022 €	0,003 €	-€ 3.432	OK
504387088	GUARN.PIANA.MOTORE	84108018	1	20,0	1,710	0,165	0,064 €	0,085 €	0,149 €	47015	5	0,060	0,031 €	0,013 €	-€ 4.937	ATTESA ASSORBIMENTO STOCK
41285134	RACCORDO	84108017	1	42,0	0,767	0,149	0,030 €	0,077 €	0,107 €	15823	5	0,054	0,028 €	0,006 €	-€ 1.158	OK
42555466	KIT ELEM. FIL. ADBLU	84108017	1	1,0	1,107	0,149	0,030 €	0,077 €	0,107 €	19238	10	0,042	0,022 €	0,003 €	-€ 1.586	OK
4895031	ASTA PUNTERIA	84107085	1	100,0	0,510	0,185	0,350 €	0,095 €	0,445 €	8400	2	0,106	0,055 €	0,175 €	-€ 1.812	OK
500301568	TAPPO INTR.OLIO MOT	84108017	1	32,0	0,704	0,149	0,030 €	0,077 €	0,107 €	55113	10	0,042	0,022 €	0,003 €	-€ 4.543	OK
500301568	TAPPO INTR.OLIO MOT	84108017	1	37,0	0,704	0,149	0,030 €	0,077 €	0,107 €	26493	5	0,042	0,022 €	0,003 €	-€ 2.184	OK
504050244	AN.TEN.ALBERI ROT.	84108017	1	14,0	1,500	0,149	0,030 €	0,077 €	0,107 €	206494	10	0,042	0,022 €	0,003 €	-€ 17.021	ATTESA ASSORBIMENTO STOCK
504062448	VITE TESTA ESAGONA	84108017	1	21,0	0,080	0,149	0,030 €	0,077 €	0,107 €	28606	15	0,037	0,019 €	0,002 €	-€ 2.461	BLOCCATO
504102965	TUBO ACQUA RAFFRED.	84108019	1	65,0	2,650	0,185	0,120 €	0,095 €	0,215 €	10503	5	0,067	0,035 €	0,024 €	-€ 1.643	OK
504351882	GUARN.PIANA.MOTORE	84108019	1	17,0	1,002	0,185	0,120 €	0,095 €	0,215 €	12907	10	0,052	0,027 €	0,012 €	-€ 2.273	OK
801385950	VITE PRIGIONIERA	84108017	1	22,0	0,438	0,149	0,030 €	0,077 €	0,107 €	21242	15	0,037	0,019 €	0,002 €	-€ 1.827	OK
801789515	ANELLO DI TENUTA	84108017	1	3,0	0,946	0,149	0,030 €	0,077 €	0,107 €	20001	10	0,042	0,022 €	0,003 €	-€ 1.649	OK
801951236	CATADIOTTRO	84108017	1	12,0	0,240	0,149	0,030 €	0,077 €	0,107 €	23043	20	0,034	0,018 €	0,002 €	-€ 2.029	BLOCCATO
802102076	CINGHIA COMPR. COND.	84108020	1	115,0	2,784	0,196	0,160 €	0,101 €	0,261 €	14294	2	0,112	0,058 €	0,080 €	-€ 1.762	OK
802874103	GUARN.PIANA.MOTORE	84108019	1	15,0	0,659	0,185	0,120 €	0,095 €	0,215 €	8409	10	0,052	0,027 €	0,012 €	-€ 1.481	OK
803141587	GUARNIZIONE TENUTA	84108019	1	21,0	0,910	0,185	0,120 €	0,095 €	0,215 €	14704	10	0,052	0,027 €	0,012 €	-€ 2.590	BLOCCATO
803423658	VITE TESTA ESAGONA	84108017	1	108,0	0,460	0,149	0,030 €	0,077 €	0,107 €	62664	2	0,086	0,044 €	0,015 €	-€ 2.984	BLOCCATO

Figura 16 Dettaglio tabella Parts soggetti a cambio Pack Quantity

I singoli codici sopra dettagliati permettono di apprezzare la precisione millimetrica del modello sul micro-flusso di linea. Tuttavia, data la vastità dell'anagrafica aziendale che conta oltre 600 voci di minuteria, l'impatto economico complessivo e macroscopico del progetto può essere compreso appieno solo attraverso una visione d'insieme dei volumi aggregati.

A questo scopo, l'intero database di oltre 600 codici è stato elaborato tramite una tabella Pivot di sintesi (Figura 17). Il prospetto riassume l'avanzamento complessivo del progetto e la consuntivazione dei risparmi economici annuali stimati (Materiali e Manodopera) per il polo di San Mauro Torinese, segmentando l'anagrafica nelle tre macro-classi di stato operativo:

- OK: raggruppa i codici per i quali l'intero iter di re-ingegnerizzazione si è concluso con successo. I Part Number appartenenti a questo cluster sono stati fisicamente validati in linea e già convertiti a sistema gestionale, operando a regime con le nuove Pack Quantity standardizzate e generando i relativi saving ricorrenti.
- ATTESA ASSORBIMENTO STOCK: identifica le referenze già deliberate dal punto di vista tecnico ma temporaneamente congelate a monte, in attesa che la giacenza pregressa monopezzo nei vari Depot della rete scenda al di sotto della soglia target concordata di 300 pezzi.
- BLOCCATO: comprende i codici che risultano formalmente associati ai nuovi parametri nel modello di selezione e bloccati preventivamente a sistema informativo, ma che non sono ancora transitati fisicamente dai banchi di

accettazione (Inbound) dall'avvio del progetto pilota, rimanendo in attesa del primo flusso fisico di fornitura per l'esecuzione della validazione pratica su macchina.

Note	Conteggio di Articolo	Somma di Totale saving year mat	Somma di Totale saving year mod
OK	415	-44.636	-68.206
ATTESA ASSORBIMENTO STOCK	68	-17.143	-30.216
BLOCCATO	164	-14.591	-24.984
Totale complessivo	**647**	**-76.369**	**-123.406**

Figura 17 Tabella riepilogo AS IS progetto Pack Quantity

Come emerge chiaramente dai dati aggregati della Pivot, il valore strategico dell'iniziativa non risiede nel risparmio del singolo codice, ma nell'effetto cumulativo generato sulla movimentazione di massa dell'intera Classe C, sbloccando un saving totale annuo pari a circa 200.000 euro.

Sostenibilità Ambientale: L'Impatto in Ottica Green Logistics

Il bilancio economico differenziale analizzato nei paragrafi precedenti non esaurisce la portata strategica del progetto. Nella moderna gestione della supply chain, l'efficienza industriale e la contrazione dei costi operativi devono necessariamente convergere verso gli obiettivi di sostenibilità ambientale e responsabilità sociale d'impresa, pilastri fondamentali che il gruppo IVECO persegue con rigore all'interno delle proprie politiche aziendali di decarbonizzazione.

Per questa ragione, il team Packaging Methods ha affiancato alle valutazioni di natura puramente finanziaria uno studio approfondito sul bilancio di massa dei materiali di consumo ausiliari, quantificando la riduzione diretta dell'impronta ecologica generata dal passaggio strutturale alle nuove pack quantity.

Sotto il profilo metodologico, l'impatto ambientale è stato valutato eseguendo un'analisi differenziale sui consumi dei materiali di stabilimento, confrontando il peso complessivo del film plastico immesso sul mercato nello Scenario As-Is rispetto allo Scenario To-Be. Il calcolo ha preso in esame il peso proprio delle buste storiche monopezzo, moltiplicato per i volumi geometrici dei pezzi consolidati nell'intero anno solare 2025. Tale scenario è stato poi confrontato con il nuovo assetto ottimizzato: per tutti i codici che hanno subito un incremento del lotto di confezionamento, il peso dell'imballo primario è stato riproporzionato dividendo il peso della nuova busta multipla per il numero di pezzi

contenuti, e proiettando il valore sui volumi annui. L'accorpamento della minuteria in classi standardizzate permette infatti di ridurre drasticamente la superficie complessiva di film plastico utilizzata in linea e, al contempo, consente di applicare un'unica etichetta identificativa per confezione anziché una per ogni singolo componente sfuso.

L'aggregazione finale di questo bilancio di massa ha evidenziato un beneficio ecologico straordinario. Il passaggio ai lotti multipli standardizzati ha consentito di registrare un risparmio netto per il solo stabilimento di San Mauro Torinese pari a quasi 4.000 kg di materiale plastico polimerico risparmiati all'anno.

Al fine di dare una veste ingegneristica e scientifica a questo dato in ottica di Carbon Footprint (Impronta di Carbonio di Filiera), il mancato consumo di materia prima è stato convertito in emissioni atmosferiche evitate. Considerando che le buste flessibili industriali utilizzate in Polietilene a Bassa Densità, un polimero che registra un fattore di emissione standard cradle-to-grave (dalla produzione allo smaltimento) pari a circa 2,5 kg di CO2 equivalente per ogni chilogrammo di materiale prodotto, il mancato consumo di 4.000 kg di plastica si traduce direttamente in un abbattimento netto di circa 10 Tonnellate di CO2 equivalenti immesse in atmosfera su base annua [17].

Questi risultati dimostrano empiricamente come l'ingegnerizzazione del packaging e l'ottimizzazione volumetrica dei flussi non debbano essere considerate semplici leve di risparmio interno o di Management Control. Al contrario, esse rappresentano strumenti fondamentali di Green Logistics e di gestione proattiva della catena del valore. Riducendo radicalmente alla fonte la generazione di rifiuti polimerici e le relative emissioni equivalenti, il progetto non solo contrae i costi diretti di approvvigionamento dei materiali di consumo a budget dello stabilimento di Torino, ma convalida la propria sostenibilità strategica allineandosi pienamente alle stringenti direttive europee sull'economia circolare e agli obiettivi di decarbonizzazione del gruppo IVECO.

Capitolo 5 - Progetto Efficienza di Linea: Studio dei Tempi e Metodi di Confezionamento

La genesi del presente progetto pilota risiede in una specifica attività di audit interno condotta dall'ente Packaging Methods and Work Analysis. A differenza del precedente caso studio relativo al kit mozzo ruota, in cui l'input ingegneristico era guidato da una criticità qualitativa emergente dalle segnalazioni di market claims, l'esigenza di ridefinire l'architettura di imballaggio di questa specifica famiglia di componenti nasce da un obiettivo strategico focalizzato sull'efficienza operativa, sulla standardizzazione dei metodi di lavoro e sulla compressione dei costi di manodopera diretta.

5.1 AS IS

Configurazione del Packaging originario

Lo specchio retrovisore, oggetto del presente studio, si configura come un componente geometricamente complesso, caratterizzato da una struttura perimetrale rigida dotata di spigoli vivi e profili particolarmente affilati. In assenza di un guscio protettivo sagomato, l'azione dinamica di questi punti critici sulla scatola di cartone ondulato generava, durante le sollecitazioni meccaniche tipiche del trasporto (vibrazioni, accelerazioni longitudinali e sussulti), frequenti fenomeni di sfondamento e lacerazione dell'imballo esterno.

Per neutralizzare tale criticità, il processo storico (Figura 18) prevedeva l'applicazione manuale di profili estrusi in materiale plastico espanso (polietilene espanso a celle chiuse, commercialmente denominato Polybar) lungo l'intero perimetro e sui vertici della struttura dello specchio. Una volta isolati i profili taglienti, la protezione del corpo principale del ricambio e il riempimento dei vuoti volumetrici all'interno del cartone venivano demandati all'utilizzo massivo di Ranpak. Non esistendo un supporto pre-sagomato o un posizionatore interno, l'operatore di linea era costretto a prelevare, tagliare e ripiegare manualmente molteplici segmenti di carta, stratificandoli in configurazioni geometriche variabili attorno al pezzo nel tentativo di stabilizzarlo e annullare i gradi di libertà del componente all'interno del collo.

Questa configurazione, pur avendo dimostrato nel corso degli anni una solida efficacia protettiva, evidenzia gravi limiti strutturali sotto il profilo dell'efficienza dei metodi e del controllo analitico dei costi di produzione. L'utilizzo combinato di profili Polybar estrusi

e carta Ranpak modellata estemporaneamente configura un processo a bassissimo livello di industrializzazione, la cui performance complessiva e la cui qualità estetica rimangono strettamente correlate alla manualità, all'esperienza e alla discrezionalità del singolo operatore.



IVECO • GROUP	SPECIFICHE DI CONFEZIONAMENTO				Ente Metodi
Codice Particolare:	Codice Confezione	Descrizione Particolare	Area/Postazione	Data emissione	Scheda
5802029809	84107311	RETROVISORE SINISTRO	PACKAGING	20/05/2024	DS_4186_2024
DPI		Strumenti		Note	

N. Operaz.	Descrizione Operazioni	Note	Punti Att.
01	Prelevare particolare e verificare integrità		
02	Prelevare Polybar ed inserirlo sul bordo del particolare	Rif.01	
03	Prelevare e formare scatola		
04	Prelevare n°1 spezzoni Ranpak e posizionarlo a "chiocciola" sul fondo della scatola	Rif.02	
05	Posizionare particolare in scatola lasciando inner di fornitura,(se neutro),(se presente)		
06	Prelevare e posizionare n°1 spezzone Ranpak a "libro" a protezione laterale del particolare	Rif.03	
07	Prelevare n°1 spezzoni Ranpak e posizionarlo a "chiocciola"a protezione superiore del particolare	Rif.04	
08	Chiudere scatola, applicare nastro adesivo ed etichetta identificativa prodotto		
09			
10			

Figura 18 Scheda confezionamento Specchi Retrovisori AS IS

Tempi Ciclo Originari e Analisi delle Inefficienze

La principale criticità economico-operativa di questo packaging risiede nelle modalità di approvvigionamento, stoccaggio in linea e manipolazione del profilo plastico Polybar. Questo materiale ausiliario viene approvvigionato in linea in un formato continuo non pre-tagliato, strutturato come un unico elemento avvolto a spirale su grandi bobine. Di conseguenza, l'operatore è costretto a svolgere manualmente la matassa e a tagliare di volta in volta, mediante l'utilizzo di un utensile da taglio manuale, la porzione di profilo ritenuta idonea sulla base di una mera stima visiva.

Sotto il profilo del Management Control e della contabilità industriale, come nel caso del Pluriball del progetto del Kit Mozzo Ruota, questa modalità operativa configura un processo totalmente fuori controllo. L'impossibilità di monitorare che venga usata la lunghezza standard definita e codificata all'interno della distinta base rende

matematicamente impossibile determinare a preventivo il costo standard del materiale per singola unità confezionata. Qualsiasi calcolo economico viene demandato a una consuntivazione ex-post soggetta a forti variabilità, con una generazione incontrollata di sfridi e scarti di materiale.

A questa indeterminatezza sui consumi si associa un'elevata inefficienza nei tempi di manipolazione (Figura 19). L'applicazione fisica del profilo Polybar sullo specchio retrovisore si è rivelata un'operazione complessa e priva di stabilità ergonomica. La flessibilità intrinseca e l'effetto memoria del materiale plastico fanno sì che, nel tempo necessario ad incastrare il profilo su un lato del componente, la tensione meccanica tenda a far scattare e distaccare il profilo dal lato opposto. L'operatore si trova quindi impegnato in un'attività ciclica e ridondante di ri-posizionamento, forzatura geometrica e trattenimento manuale prima di poter bloccare il pezzo e procedere alla successiva stratificazione della carta Ranpak.

In un polo logistico ad alta intensità distributiva come quello di IVECO a San Mauro Torinese, dove la manodopera rappresenta una delle voci di costo operativo più incidenti sul budget di stabilimento, un ciclo di confezionamento così frammentato e privo di standardizzazione impatta pesantemente sull'efficienza globale del reparto. Questo

scenario spiega la decisione del team Packaging Methods di intervenire prioritariamente su questa referenza, nonostante l'assenza di stimoli qualitativi dal mercato.

CG4 - CONFEZIONAMENTO MANUALE IN SCATOLA			1		1		1		1	
Q.tà lotto produzione = 50 PZ			con carta antiurto (N.4 spezzoni)		con carta antiurto (N.6 spezzoni)		con proffilo polybar + carta antiurto (4 spezzoni)		con proffilo polybar + carta antiurto (6 spezzoni)	
Descrizione operazione	Tempo totale (min)	%	Qtà x freq	Tempo unitario (min)	Qtà x freq	Tempo unitario (min)	Qtà x freq	Tempo unitario (min)	Qtà x freq	Tempo unitario (min)
010_01 Disimballo scatola cartone	0,787	100%	0,167	0,131	0,167	0,131	0,167	0,131	0,167	0,131
010_02 Disimballo contenitore lamiera	0,720	-		-		-		-		-
010_03 Disimballo pallet da reggette	0,601	50%	0,167	0,050	0,167	0,050	0,167	0,050	0,167	0,050
010_04 Disimballo pallet da film	0,745	50%	0,167	0,062	0,167	0,062	0,167	0,062	0,167	0,062
010_05 Riconfezionare particolare in busta	0,185	-		-		-		-		-
010_06 Sconfezionare scatola packaging fornitore	0,300	-		-		-		-		-
010_07 Chiudere ammortizzatore mediante attrezzo	0,196	-		-		-		-		-
020_01 Rifornire particolare su banco	0,128	100%	1,000	0,128	1,000	0,128	1,000	0,128	1,000	0,128
020_02 Rifornire particolari small su banco (qtà=2)	0,070	-		-		-		-		-
030_01 Leggere informazioni ciclo	0,595	100%	0,020	0,012	0,020	0,012	0,020	0,012	0,020	0,012
040_01 Prelevare sviluppi scatole da carrello	0,221	100%	1,000	0,221	1,000	0,221	1,000	0,221	1,000	0,221
040_02 Formare scatola small	0,331	-		-		-		-		-
040_03 Formare scatola medium	0,477	-		-		-		-		-
040_04 Formare scatola large	0,517	100%	1,000	0,517	1,000	0,517	1,000	0,517	1,000	0,517
050_01 Inserire particolare in scatola small	0,130	-		-		-		-		-
050_02 Inserire particolare in scatola medium	0,210	-		-		-		-		-
050_03 Inserire particolare in scatola large	0,294	100%	1,000	0,294	1,000	0,294	1,000	0,294	1,000	0,294
050_04 Inserire particolare minuteria in scatola small	0,049	-		-		-		-		-
060_01 Chiudere con nastro scatola small	0,188	-		-		-		-		-
060_02 Chiudere con nastro scatola medium	0,235	-		-		-		-		-
060_03 Chiudere con nastro scatola large	0,272	100%	1,000	0,272	1,000	0,272	1,000	0,272	1,000	0,272
070_01 Prelevare spezzone carta Ranpak	0,080	100%	4,000	0,320	6,000	0,480	4,000	0,320	6,000	0,480
070_02 Proteggere con carta Ranpak small	0,139	-		-		-		-		-
070_03 Proteggere con carta Ranpak medium	0,294	100%	4,000	1,176	6,000	1,764	4,000	1,176	6,000	1,764
070_06 Proteggere con inserti in cartone ripiegati	0,643	100%	-	-	-	-	-	-	-	-
070_05 Inserire profilo Polybar	0,700	100%	-	-	-	-	1,000	0,700	1,000	0,700
080_01 Proteggere con foglio carta VCI small	0,236	-	-	-	-	-		-		-
080_02 Proteggere con foglio carta VCI medium	0,378	100%	-	-	-	-	-	-	-	-
090_01 Applicare etichetta identificativa 60x60	0,064	-		-		-		-		-
090_02 Applicare etichetta identificativa 65x90	0,085	100%	1,000	0,085	1,000	0,085	1,000	0,085	1,000	0,085
090_03 Applicare etichetta "fragile" 100x100	0,085	100%	2,000	0,170	2,000	0,170	2,000	0,170	2,000	0,170
100_01 Deporre scatola su rulliera	0,058	-		-		-		-		-
100_03 Deporre scatola in contenitore	0,141	100%	1,000	0,141	1,000	0,141	1,000	0,141	1,000	0,141
110_01 Stampare ed applicare picking ticket	0,256	100%	0,100	0,026	0,100	0,026	0,100	0,026	0,100	0,026
				0,000		0,000		0,000		0,000
Stampare striscia etichette identificative 65x90	2,000	100%	0,020	0,040	0,020	0,040	0,020	0,040	0,020	0,040
Sostituzione rotolo nastro su nastratrice	1,000	100%	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
Registrazione dati produzione	0,750	100%	0,020	0,015	0,020	0,015	0,020	0,015	0,020	0,015
Pulizia e riordino posto di lavoro	2%			0,074		0,089		0,088		0,103
COSTO UNITARIO CONFEZIONAMENTO (min/pz)				3,753		4,516		4,467		5,230
PRODUZIONE ORARIA				16		13		13		11
PRODUZIONE TURNO (con pause collettive regolamentate pari a 40 min/turno)				109		91		92		78

Figura 19 Tabella Analisi dei Tempi del processo degli Specchi Retrovisori

Analisi FMEA ex-post e avvio del progetto Kaizen

Mentre l'ente Packaging Methods and Work Analysis ha aggredito il processo degli specchi retrovisori guidato da un target puramente orientato alla produttività d'officina, si è ritenuto opportuno mappare ex-post la postazione attraverso una FMEA di processo orientata alla Safety ed all'Ergonomia (PFMEA). Questo approfondimento consente di dimostrare come l'assenza di un supporto standardizzato generasse un livello di rischio latente per la forza lavoro non più accettabile per gli standard World Class Manufacturing dello stabilimento.

Il modo di guasto esaminato non risiede nella non-conformità del prodotto, ma nella deviazione posturale dell'operatore e nella destrutturazione del metodo manuale. L'effetto principale di questo assetto operativo è duplice: da un lato, il rischio di insorgenza di patologie muscolo-scheletriche da sovraccarico funzionale a carico della colonna vertebrale e degli arti superiori a causa delle posture incongrue necessarie per pressare la carta Ranpak sul fondo del cartone verticale; dall'altro, il rischio di infortunio da taglio causato dall'utilizzo continuo del cutter per sezionare i profili Polybar in linea.

- La Gravità (S) è classificata con un punteggio di 7, riflettendo la severità delle normative di tutela della salute e l'impatto aziendale legato a potenziali infortuni da taglio o assenze per malattie professionali.
- L'Accadimento (O) si attesta a 7 perché l'azione di taglio manuale ed estemporanea della bobina Polybar e la pressatura asimmetrica della carta si ripetono in modo identico su ogni singolo specchio retrovisore processato.
- La Rilevabilità (D) del rischio biomeccanico è valutata 5, poiché il sovraccarico posturale non genera un allarme bloccante immediato sulla linea, ma si accumula nel tempo manifestandosi solo a lungo termine.

$$\mathrm{RPN}_{\text{AS-IS}} = 7 \times 7 \times 5 = 245$$

L'indice RPN iniziale pari a 245 evidenzia una condizione di rischio critica, superando ampiamente la soglia limite di 100, convenzionalmente assunta come riferimento metodologico in accordo con gli standard di settore. Questo valore ha fornito la base analitica per motivare e guidare la riprogettazione ergonomica dei movimenti attraverso un Quick Kaizen di postazione, dimostrando che l'efficientamento dei tempi ciclo poteva integrarsi pienamente con la rimozione dei pericoli fisici per l'operatore.

5.2 TO BE

Ingegnerizzazione del Nuovo Inner Pack

L'obiettivo di abbattere il tempo ciclo e standardizzare la postazione di lavoro ha guidato il team Packaging Methods verso una riconfigurazione radicale dell'architettura del collo. Abbandonando la logica multi-materiale e destrutturata del processo As-Is, l'attività di riprogettazione si è focalizzata sull'introduzione di un sistema integrato basato sulla tecnologia del Retention Packaging [18] (imballaggio a ritenzione per accoppiamento meccanico).



Figura 20 Tecnologia Retention Packaging

La prima modifica sostanziale ha riguardato il layout geometrico del collo, convertito da uno sviluppo verticale a uno sviluppo orizzontale. Sotto il profilo della fisica dei trasporti e della dinamica dei corpi, la disposizione orizzontale abbassa drasticamente l'altezza del baricentro dell'Unità di Collo, incrementando la stabilità statica e dinamica del pacco durante le accelerazioni sui rulli di smistamento e riducendo il momento di ribaltamento dovuto alle movimentazioni manuali e meccaniche.

Il cuore dell'innovazione risiede nella struttura dell'inner pack, costituito da un unico pianetto in cartone ondulato fustellato a cui è termosaldato un film plastico ad alta elasticità e ad alta resistenza alla perforazione. Questo film poliuretanico è dimensionato per assecondare la geometria complessa dello specchio retrovisore senza subire lacerazioni in corrispondenza dei profili taglienti. Il processo operativo, ingegnerizzato per massimizzare la maneggevolezza e la rapidità esecutiva, si articola in una sequenza cinematica semplice, vincolata e priva di ambiguità decisionali:

- Posizionamento: l'operatore adagia lo specchio retrovisore in posizione orizzontale sul pianetto di cartone, inserendolo nell'intercapedine interposta tra la base cellulosica e il film plastico rilassato.
- Tensionamento Meccanico: sfruttando le linee di piegatura (cordonature) pre-ingegnerizzate della fustella, l'operatore ripiega verso il basso le estremità laterali del pianetto. Questa rotazione geometrica esercita una trazione diretta sui punti di ancoraggio del film, mettendolo istantaneamente in tensione. Il film si modella così attorno al corpo dello specchio, esercitando una pressione uniforme che immobilizza il pezzo e ne azzera i gradi di libertà di movimento.

- Confinamento: il pianetto, mantenuto in posizione tesa dalle sue stesse alette ripiegate, viene infilato orizzontalmente all'interno della nuova scatola di cartone ondulato. Le pareti interne della scatola agiscono come vincolo strutturale esterno, impedendo alle alette del pianetto di riaprirsi e bloccando permanentemente lo stato di pre-tensionamento del film per l'intera durata del ciclo logistico.

Questo nuovo standard cancella le inefficienze strutturali della baseline. La stabilità dello specchio non dipende più dall'abilità dell'operatore nel creare spessori con la carta Ranpak o nell'ancorare profili Polybar instabili; è l'architettura stessa dell'imballo che, tramite una semplice mossa meccanica di piegatura, garantisce l'immobilità del pezzo. Il processo si trasforma in un flusso guidato, rapido, altamente ripetibile ed ergonomico, eliminando i tempi morti e azzerando la variabilità di esecuzione in linea.

Analisi dei Nuovi Tempi e Rilievi Cronometrici

Per valutare l'impatto operativo del nuovo assetto a ritenzione elastica rispetto alla gestione storica, è stata condotta un'analisi cronometrica differenziale sulla manodopera diretta. L'indagine ha preso come punto di partenza la baseline storica di 4,47 minuti per pezzo e ha mappato le variazioni micro-operative introdotte nelle linee di confezionamento:

- Tempi Eliminati (Attività a non-valore): la riprogettazione dell'imballo ha permesso di azzerare completamente 2,19 minuti di lavorazione. Questa contrazione è legata all'eliminazione delle operazioni manuali di posizionamento dei profili in schiuma Polybar sugli spigoli vivi dello specchio retrovisore e alla complessa manipolazione della carta Ranpak, la quale doveva essere estrusa, avvolta manualmente "a chiocciola" e sagomata dall'operatore per garantirne il corretto inserimento geometrico nel cartone.
- Tempi Introdotti: di contro, il nuovo ciclo operativo introduce una transizione quantificata in 0,50 minuti. Questo tempo è strettamente necessario per l'inserimento dello specchio tra il film plastico e il pianetto di cartone, seguito dalla trazione meccanica del film stesso ottenuta tramite il ripiegamento delle falde laterali.
- Tempi Costanti (Invariati): tutte le restanti operazioni ausiliarie a inizio e fine ciclo, quali la formatura della scatola americana, la nastratura industriale e

l'applicazione dell'etichetta barcode identificativa, sono rimaste identiche, non subendo alcuna variazione strutturale o tecnologica.

In sintesi, il bilancio cronometrico netto registra una contrazione del tempo ciclo pari a 1,69 minuti risparmiati per ogni singolo pezzo, fissando il nuovo tempo standard di linea a 2,78 minuti/pezzo.

5.3 Analisi dei risultati e valutazioni economiche

Incremento della Capacità Produttiva

La valutazione della convenienza globale del nuovo assetto si basa sull'incrocio tra il bilancio economico dei materiali e i riscontri cronometrici e volumetrici consolidati. Sotto il profilo del puro costo d'acquisto dei materiali ausiliari, la transizione all'assetto a ritenzione elastica ha comportato, come evidenziato in distinta base, un incremento unitario pari a $\Delta = 0{,}39 €/pezzo$:

$$\Delta C_{mat} = 2{,}85 € \text{ (Nuova scatola + Nuovo Pack)} - 2{,}46 € \text{ (Scatola + Polybar + Ranpak)}$$
$$= +0{,}39 €/\text{pezzo}$$

Questo extra-costo nominale dei materiali risulta tuttavia ampiamente azzerato e convertito in un profitto netto di stabilimento grazie al drastico crollo del tempo ciclo manuale. Moltiplicando l'abbattimento di 1,69 minuti per il costo orario standard della manodopera diretta del polo logistico di San Mauro Torinese, e proiettando il valore sui volumi annui consolidati della famiglia di ricambi, l'investimento sul materiale viene ampiamente ammortizzato già nel breve periodo, sbloccando un ritorno economico immediato e qualificando il progetto come un intervento ad alta redditività aziendale.

Accanto al ritorno economico diretto legato alla manodopera, il successo strategico risiede nell'ottimizzazione volumetrica della logistica di stoccaggio e movimentazione delle Unità di Carico (UdC):

- Densità di Stoccaggio: la riprogettazione geometrica vede la scatola passare dalle vecchie dimensioni di $445 \times 200 \times 660$ mm al nuovo formato ottimizzato di $530 \times 505 \times 205$ mm. Questa drastica riduzione degli ingombri permette di inserire un numero significativamente maggiore di scatole all'interno delle medesime baie e scaffalature di magazzino. Per lo stoccaggio e la movimentazione, i colli vengono inseriti nel contenitore di packing (imballo secondario) che risponde alle dimensioni standard di $1200 \times 800 \times 1440$ mm:

se con il vecchio assetto la saturazione massima si fermava a sole 20 scatole, la nuova geometria permette di stivarne ben 24 nello stesso spazio. Ciò ottimizza la saturazione dei flussi d'area, incrementa la densità di stoccaggio del reparto ricambi e riduce l'incidenza del costo dello spazio specifico per singola unità di prodotto stoccata.

- Saturazione Spedizioni e Impatto Ambientale: proiettando questo incremento sui 48.000 specchi annui, per muovere lo stesso volume si passa da 2.400 a soli 2.000 imballi secondari ,sbloccando un risparmio netto di 400 pallet all'anno. Poiché il 90% del flusso copre la tratta di navettaggio a cortissimo raggio (appena 3 km) tra San Mauro e il magazzino centrale di Torino, l'abbattimento di 400 pallet evita 12 viaggi completi all'anno della navetta aziendale (ipotizzando una capacità di 33 pallet per automezzo). Considerando un fattore di emissione per cicli urbani gravosi di 1,3 kg CO_{2eq}/km su un ciclo di 6 km (andata/ritorno), e includendo il restante 10% di volumi destinato alle tratte internazionali a lungo raggio, si ottiene un abbattimento complessivo della flotta di circa 1.500 kg di $CO2$ all'anno. Questo risultato riduce le spese di nolo per singolo ricambio e dimostra al Management l'efficacia del progetto nel decongestionare e decarbonizzare anche i micro-flussi industriali locali.

Impatto in ottica Green Logistics: Ecodesign e semplificazione del fine vita

Parallelamente, la totale riconfigurazione geometrica e tecnologica dell'imballo sblocca un duplice e rilevante vantaggio in termini di sostenibilità ambientale e Green Logistics, perfettamente in linea con le direttive europee sull'economia circolare e con le politiche di decarbonizzazione del Gruppo IVECO.

Il primo beneficio ecologico deriva direttamente dal processo di ottimizzazione volumetrica dimensionale dell'Unità di Collo. La contrazione geometrica delle scatole si traduce in una riduzione del consumo di materia prima cellulosica per singola unità prodotta, abbattendo l'impronta ecologica legata alla fabbricazione, al trasporto inbound e al successivo riciclo del cartone stesso.

Il secondo e più innovativo pilastro del bilancio ambientale risiede nella drastica semplificazione del processo di gestione del fine vita (End-of-Life Management) dell'imballo presso le officine e i dealer della rete outbound. La gestione storica era penalizzata da un flusso multi-materiale destrutturato. L'operatore dell'officina a valle,

una volta prelevato lo specchio retrovisore, era costretto a investire tempo per separare manualmente i profili in Polybar e il cartone, pena la contaminazione delle frazioni di raccolta o il conferimento inefficiente dell'intero imballo nel flusso dei rifiuti indifferenziati.

Al contrario, la tecnologia di Retention Packaging industrializzata nello scenario TO-BE risolve alla radice questa inefficienza comportamentale. L'inserto protettivo interno è costituito da un pianetto di cartone al quale è termosaldato un film poliuretanico ad altissima elasticità. Sotto il profilo dell'ingegneria dei materiali, lo spessore del film plastico è talmente ridotto da rappresentare un'incidenza in massa inferiore al 5% del peso complessivo dell'inserto. In conformità con le linee guida stabilite dai consorzi nazionali di recupero (es. Comieco [19]) e recepiti dagli standard qualitativi di IVECO, questa sproporzione quantitativa classifica l'inserto come "imballaggio misto a prevalenza cellulosica", sbloccando l'autorizzazione allo smaltimento congiunto.

L'utente finale non deve compiere alcuna operazione di separazione: l'intero package esausto (scatola americana e inserto di ritenzione flessibile) viene conferito integralmente all'interno del solo contenitore dedicato a carta e cartone. Sarà successivamente il processo di idromacerazione meccanica in cartiera a separare la micro-frazione plastica senza inficiare la qualità della pasta di cellulosa riciclata.

L'introduzione di questa soluzione di ecodesign trasforma un flusso logistico storicamente frammentato in un ciclo economico circolare, pulito e user-friendly, riducendo la generazione di rifiuti sul mercato globale e confermando l'efficacia del progetto nel coniugare gli obiettivi di abbattimento dei tempi di stabilimento con una riduzione dell'impatto ambientale di filiera.

Benefici Intangibili: Ergonomia, Sicurezza e Standard Work

Al di là dei riscontri cronometrici ed economici, la riprogettazione del packaging per gli specchi retrovisori ha generato importanti benefici intangibili sulla componente più critica dello stabilimento di San Mauro Torinese: la forza lavoro. L'introduzione del sistema a ritenzione elastica (Retention Packaging) ha migliorato la qualità dell'ambiente di lavoro attraverso tre leve principali:

- Riduzione dello Stress Cognitivo e Fluidità del Lavoro: la baseline originaria imponeva all'operatore un continuo sforzo decisionale per tagliare a misura il profilo Polybar dal "gomitolo" e modellare la carta Ranpak. Sotto il profilo

dell'ergonomia cognitiva e della psicologia industriale, questo assetto configurava un compito ad elevato carico mentale latente. L'operatore era costretto a compiere continui cicli di valutazione visiva e stima dimensionale estemporanea per stabilire la metratura di plastica da tagliare, convertendo un'attività che avrebbe dovuto essere puramente esecutiva in un processo semi-discrezionale. Questa variabilità creava micro-frustrazione in linea, poiché rompeva la ciclicità del ritmo lavorativo e aumentava la fatica mentale dovuta alla ripetizione di micro-scelte non standardizzate. Il nuovo assetto cancella ogni discrezionalità: la sequenza a incastro guidata è immediata e ripetitiva. L'introduzione del Retention Packaging azzera i tempi di elaborazione dell'informazione e i tempi decisionali. L'operatore non deve più stimare i volumi dei materiali sussidiari, ma semplicemente assecondare la cinematica dell'imballo attraverso movimenti predefiniti e vincolati, rendendo il flusso di lavoro fluido, prevedibile e psicologicamente meno stressante, con un conseguente abbattimento dei tassi di errore dovuti a cali di attenzione nel corso delle 8 ore di turno.

- Ergonomia Posturale della Postazione: la conversione della scatola da uno sviluppo verticale a un layout orizzontale ha ottimizzato i flussi biomeccanici dell'operatore, agendo direttamente sulle variabili strutturali del sovraccarico muscolo-scheletrico. Sebbene l'accesso avvenga sempre dall'alto tramite l'apertura delle falde superiori, la drastica riduzione dell'altezza verticale del cartone cambia completamente l'altezza del baricentro operativo e la geometria delle articolazioni coinvolte. Nella baseline verticale, l'altezza della scatola costringeva l'operatore a sollevare le braccia sopra la linea del gomito per inserire il componente, inducendo una postura incongrua con flessione e abduzione della spalla superiore ai 45° circa, una condizione che accelera l'affaticamento dei muscoli della cuffia dei rotatori e del trapezio. Inoltre, per pressare manualmente la carta Ranpak sul fondo del cartone, l'addetto doveva flettere asimmetricamente il tronco in avanti, generando un momento torcente e una sollecitazione di compressione asimmetrica sui dischi intervertebrali della zona lombare. Con il nuovo assetto orizzontale, l'imboccatura superiore si trova in prossimità del piano di lavoro: l'operatore può calare il pianetto fustellato mantenendo le braccia nella zona di comfort ergonomico (postura neutra con gomiti flessi a circa 90° vicino al tronco) e, grazie alla totale eliminazione dei materiali riempitivi da schiacciare, azzera le sollecitazioni di carico e flessione sulla colonna vertebrale. Questo

drastico abbattimento del braccio di leva della forza peso del pezzo e della forza di compressione manuale riduce l'indice di rischio posturale della cella di lavoro, minimizzando il rischio di patologie da trauma cumulativo e garantendo la massima sostenibilità biomeccanica delle Operations.

- Consolidamento dello Standard Work e Sicurezza: il nuovo imballo agisce intrinsecamente come un dispositivo Poka-Yoke di tipo geometrico e sequenziale (a prova di errore). Nel WCM e nelle architetture Lean, un Poka-Yoke è efficace quando impedisce fisicamente all'operatore di eseguire un'operazione errata. Nella baseline storica, l'operatore doveva decidere autonomamente certe questioni, introducendo una forte variabilità soggettiva. Il nuovo sistema a ritenzione cancella questa discrezionalità attraverso un vincolo meccanico rigido: il pianetto fustellato presenta sagomature e linee di cordonatura uniche, che accolgono lo specchio retrovisore in una sola posizione geometrica possibile. Qualsiasi tentativo di posizionamento errato o asimmetrico impedirebbe la successiva chiusura e la trazione del film plastico, segnalando immediatamente l'anomalia prima che il pacco venga inserito nella scatola esterna. Non ammettendo variazioni procedurali, il processo garantisce la massima ripetibilità dei tempi ciclo indipendentemente dall'abilità o dall'esperienza del singolo operatore, facilitando l'addestramento in linea e stabilizzando la produttività oraria. Sotto il profilo della sicurezza, infine, l'eliminazione totale del profilo Polybar ha rimosso la necessità di utilizzare continuamente utensili da taglio per sezionare la plastica, eradicando alla radice il rischio di infortuni da taglio da contatto accidentale o da distrazione, e allineando la postazione ai massimi standard di tutela della salute sul lavoro.

Il progetto si qualifica quindi come una best practice capace di coniugare i target di produttività del team Packaging Methods con la tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori del gruppo IVECO.

Capitolo 6 - Conclusioni

Il presente lavoro di tesi magistrale ha permesso di analizzare in modo organico, scientifico e sistematico il ruolo fortemente strategico e operativo che l'ingegnerizzazione del packaging industriale ricopre all'interno della logistica aftermarket di un grande player globale del comparto automotive come IVECO Group. L'attività di ricerca, modellazione e implementazione sul campo, condotta direttamente presso il polo centralizzato del Parts Logistic Centre di San Mauro Torinese, ha offerto l'opportunità di studiare da vicino la straordinaria complessità gestionale che caratterizza la catena di fornitura dei ricambi. Tale contesto è strutturalmente governato da variabili critiche e penalizzanti, quali un'anagrafica attiva che supera le 50.000 referenze merceologiche, una domanda finale altamente frammentata, volatile e difficilmente prevedibile, e la necessità stringente di garantire un Service Level d'eccellenza per azzerare i tempi di fermo macchina dei clienti professionali, per i quali i veicoli commerciali e industriali rappresentano asset produttivi primari da cui dipende la redditività del proprio business.

Il principale contributo metodologico e manageriale emerso a consuntivo di questa esperienza risiede nella dimostrazione empirica che i tre progetti pilota sviluppati, pur muovendosi su classi di componenti distanti e con baseline tecnologiche differenti, non hanno costituito interventi isolati, slegati o risposte estemporanee a singole emergenze operative. Al contrario, essi si sono rivelati tasselli sinergici e rigorosamente complementari di un'unica strategia integrata di ottimizzazione olistica, il cui baricentro è rappresentato dall'applicazione sistematica della filosofia del miglioramento continuo (Kaizen) e dei pilastri industriali del World Class Manufacturing (WCM) adottati dal gruppo IVECO. L'imballaggio industriale è stato così sottratto a una visione tradizionale e miope che lo confinava a mero centro di costo passivo, venendo reinterpretato come un vero e proprio vettore di valore, un'estensione diretta della qualità del prodotto e una leva competitiva fondamentale lungo l'intera Supply Chain.

L'interconnessione organica e l'allineamento strategico dei tre progetti si manifestano chiaramente nell'analisi approfondita del modo in cui ciascun intervento ha concorso al raggiungimento dei macro-obiettivi aziendali, risolvendo i complessi trade-off della catena del valore:

- Ingegneria della Qualità e Tutela del Valore (Progetto Kit Mozzo Ruota): il primo progetto ha aggredito una severa criticità qualitativa emersa dai mercati

internazionali attraverso un approccio di Problem Solving interfunzionale in stretta sinergia con l'ente Qualità. Dimostrati i limiti fisici della carta e del pluriball generico, soggetti a fatica pneumatica e deformazione plastica permanente di fronte alle gravose e repentine sollecitazioni manuali delle tratte corriere espressi, il team ha sviluppato un inner pack personalizzato in poliuretano espanso. Sfruttando le proprietà di deformazione elastica e la memoria di forma del polimero, accoppiate a un co-design geometrico millimetrico e a una scatola esterna confinata FEFCO 0201 che sblocca l'automazione della linea, il progetto ha conseguito l'azzeramento totale dei claim nella finestra di monitoraggio early-stage. L'apertura della matrice FMEA ex-post ha validato l'intervento dimostrando l'abbattimento radicale del rischio, portando l'RPN iniziale da un valore critico a un punteggio finale ampiamente sotto la soglia di sbarramento assunta. Questo intervento ha dimostrato la lungimiranza economica del ripensamento tecnologico: i costi vivi precedentemente dispersi in rottamazioni locali, analisi metallurgiche urgenti e trasporti straordinari sono stati virtuosamente riconvertiti in valore protettivo strutturale per il ricambio, assorbendo l'extra-costo d'acquisto dei materiali ausiliari e blindando la Brand Equity di IVECO sul mercato ricambi.

- Razionalizzazione della Supply Chain e Sostenibilità Ambientale (Progetto Pack Quantity Minuteria): il secondo intervento ha affrontato la parcellizzazione storica e inefficiente della minuteria ad altissima rotazione (Classe C logistica) attraverso la creazione di un modello di selezione algoritmico strutturato su tre filtri rigidi (vincolo economico del prezzo del lotto, vincolo fisico della portata termo-meccanica della busta e vincolo statistico dei consumi storici). L'abbandono del confezionamento monopezzo a favore di lotti multipli standardizzati ha innescato benefici di filiera che si sono propagati capillarmente sia a monte sia a valle. Nelle linee di imballaggio di San Mauro Torinese, la spalmabilità dei tempi tecnologici fissi su volumi superiori ha incrementato l'output orario, generando al contempo un risparmio netto annuo di circa 4.000 kg di plastica flessibile in LDPE. In un'ottica di Green Logistics, questo mancato consumo di materia prima si traduce direttamente nell'abbattimento di circa 10 Tonnellate di CO_2 equivalenti immesse in atmosfera, allineando lo stabilimento agli obiettivi di decarbonizzazione di IVECO Group. Al contempo, nei nodi logistici a valle, l'accorpamento ha risolto il fenomeno del frazionamento delle attività tramite il cosiddetto Picking Crunch, dimezzando i tempi di manipolazione e viaggio nelle baie di picking dei Depot

mondiali e azzerando il rischio di errore umano grazie a un controllo visivo di tipo Poka-Yoke. La modellizzazione finanziaria differenziale ha evidenziato come, superata la fase transitoria di decadimento controllato dello stock preesistente, l'operazione sblocchi un saving cumulato annuo pari a circa 200.000 euro.

- Ottimizzazione dei Tempi, Layout e Ergonomia Industriale (Progetto Specchi Retrovisori): il terzo progetto, focalizzato prettamente sulla produttività delle Operations e sulla standardizzazione del lavoro manuale, ha introdotto la tecnologia del Retention Packaging a sviluppo orizzontale per superare un processo storicamente destrutturato e fuori controllo sotto il profilo del monitoraggio dei costi standard. La mappatura cronometrica condotta tramite lo studio analitico dei tempi e metodi ha permesso di isolare le attività a non-valore aggiunto (Muda): l'eliminazione del cutter per tagliare la schiuma plastica e della pressatura manuale della carta Ranpak ha generato un risparmio netto di tempo per singolo pezzo, abbattendo il tempo ciclo del 37,8%. Questa contrazione dei tempi di manodopera diretta, moltiplicata per i volumi annui, ha sbloccato un saving netto per lo stabilimento pari a circa 31.000 euro all'anno. Inoltre, la riprogettazione geometrica ha ottimizzato la logistica inter-sito, incrementando del 20% la densità di saturazione nei contenitori di packing e risparmiando 400 pallet all'anno, traducibili nell'eliminazione di 12 viaggi completi della navetta aziendale e nella conseguente riduzione delle emissioni atmosferiche locali.

Sotto il profilo strettamente metodologico, l'intero impianto della tesi evidenzia come l'applicazione dei pilastri del WCM e della filosofia Kaizen all'ingegneria del packaging richieda una visione dinamica e mai statica dello Standard Work. Lo standard non deve essere interpretato come un punto di arrivo immutabile, bensì come la baseline operativa necessaria per innescare cicli continui di miglioramento continuo. Come emerso nelle fasi di industrializzazione della minuteria e del mozzo ruota, la modifica di un imballo richiede una pianificazione temporale e informatica coordinata per evitare colli di bottiglia e tutelare l'efficienza finanziaria complessiva dell'azienda.

Dal punto di vista della contabilità industriale e del controllo di gestione, il lavoro dimostra l'imprescindibilità del modello del Total Logistics Cost come bussola fondamentale per le decisioni direzionali. Un'analisi parziale, focalizzata esclusivamente sul puro costo d'acquisto unitario dei materiali ausiliari, avrebbe bocciato sia l'inserto polimerico del mozzo ruota sia il pianetto fustellato a ritenzione elastica dello specchio

retrovisore. Tuttavia, inserendo tali variazioni all'interno di un bilancio differenziale annuo sistemico, emerge come l'incremento nominale sul materiale venga ampiamente sovrastato ed eliminato dai risparmi generati a valle in termini di contrazione della manodopera diretta, ottimizzazione geometrica degli spazi di stoccaggio, riduzione dei noli di trasporto e completo azzeramento dei costi della non-qualità.

Infine, un rilievo scientifico centrale spetta ai benefici intangibili legati alla valorizzazione del capitale umano, all'ergonomia industriale e alla sicurezza sul lavoro. L'efficienza e la produttività delle linee del PLC di San Mauro Torinese sono state perseguite senza mai prescindere dal benessere psicofisico della forza lavoro. La re-ingegnerizzazione ergonomica dei layout operativi condotta nel Capitolo 5 ha ridotto drasticamente lo stress cognitivo degli operatori, trasformando compiti decisionali e ad alta variabilità in sequenze cinematiche fluide, immediate e guidate.

L'allineamento analitico ai dettami del D.Lgs. 81/08 e della norma tecnica internazionale ISO 11228-3 ha permesso di ridefinire le traiettorie posturali degli operatori: la transizione ai nuovi layout ha riportato i distretti articolari all'interno della zona di comfort, azzerando le nocive sollecitazioni biomeccaniche di flessione del tronco e il carico di compressione asimmetrica sui dischi intervertebrali, qualificando i progetti come reali best practice di responsabilità sociale d'impresa.

In conclusione, la presente trattazione dimostra numericamente e concettualmente che l'Ingegneria del Packaging rappresenta un nodo di integrazione fondamentale per le moderne Supply Chain internazionali. L'esperienza maturata nel polo centralizzato di San Mauro Torinese conferma la lungimiranza strategica delle scelte organizzative di IVECO Group: centralizzare le competenze e standardizzare i flussi ha permesso di trasformare il packaging in una leva tecnologica proattiva, capace di coniugare simultaneamente e in modo profittevole i target di eccellenza qualitativa, competitività economica, tutela della salute dei lavoratori e sostenibilità ambientale.

Bibliografia

[1] IVECO Group, *Sito web ufficiale*, [https://www.ivecogroup.com]

[2] Colombelli A., *Dispense del corso di Strategia e Organizzazione Aziendale*, Politecnico di Torino, Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale.

[3] Rafele C., *Dispense del corso di Supply Chain Management*, Politecnico di Torino, Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale.

[4] ISO 780:2015, *Packaging — Distribution packaging — Graphical symbols for handling and stowage of packages*.

[5] IVECO Group, *Catalogo standard di packaging e specifiche imballi ricambi*, Documentazione tecnica interna, 2021.

[6] Maynard H. B., Stegemerten G. J., Schwab J. L., *Methods-Time Measurement*, McGraw-Hill, 1948.

[7] D.Lgs. 9 aprile 2008, n. 81, *Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro*.

[8] Norma ISO 11228-3, *Ergonomia e valutazione dei compiti ripetitivi degli arti superiori ad alta frequenza.*

[9] IVECO Group, *Linee guida e standard operativi World Class Manufacturing (WCM),* Documentazione tecnica interna.

[10] GIFCO, *Classificazione e caratteristiche tecniche delle onde del cartone ondulato*, Gruppo Italiano Fabbricanti Cartone Ondulato.

[11] IVECO Group, *Procedura e modello di calcolo dei Costi della Non-Qualità (CNQ),* Documentazione tecnica interna, 2024.

[12] Galetto M., *Dispense del corso di Ingegneria della Qualità*, Politecnico di Torino, Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale.

[13] AIAG & VDA, *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA Handbook), Linee guida per l'analisi dei rischi nel settore automotive, 2019

[14] ISTA (2014). ISTA Procedure 1A: Packaged-Products 150 lb (68 kg) or Less, International Safe Transit Association.

[15] ASTM International, *ASTM D5276: Standard Test Method for Drop Test of Loaded Containers by Free Fall*, 2019.

[16] FEFCO, *International Corrugated Packaging Cases Code*, European Federation of Corrugated Board Manufacturers, 2020.

[17] PlasticsEurope, *Dati ambientali ed emissioni del Polietilene a Bassa Densità (LDPE),* 2021.

[18] Deles Group, *Soluzioni di Retention Packaging e imballaggi protettivi*, consultabile online su: [https://www.delesgroup.com]

[19] COMIECO, *Linee guida per la riciclabilità degli imballaggi a prevalenza carta*, 2022.