



UNIVERSITÀ DI PISA

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

RELAZIONE PER IL CONSEGUIMENTO DELLA  
LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA GESTIONALE

***Ottimizzazione di un processo produttivo con l'utilizzo  
di robot industriali, collaborativi e veicoli a guida  
autonoma***

**SINTESI**

---

RELATORI

Prof. Ing. Gino Dini  
*Dipartimento di Ingegneria  
Civile e Industriale*

Dott. Alberto Mannini  
*NEXMAN S.r.l.*

IL CANDIDATO

Federica Petrillo  
*federicapetrillo94@gmail.com*

Sessione di Laurea Magistrale del 29/09/2021

# **Ottimizzazione di un processo produttivo con l'uso di robot industriali, collaborativi e veicoli a guida autonoma**

**Federica Petrillo**

---

## **Sommario**

Questo lavoro di tesi è il risultato di un percorso di tirocinio svolto presso NEXMAN S.r.l. con sede a Vecchiano (Pisa), un'azienda che opera a supporto dei clienti per innovare e ottimizzare i processi produttivi industriali in ottica Industria 4.0.

L'elaborato ha lo scopo di analizzare il processo produttivo di un'azienda cliente di NEXMAN, produttrice di pellet ad alta concentrazione di additivi, con il fine di introdurre sistemi innovativi quali robot industriali e collaborativi e veicoli a guida autonoma.

Il lavoro dapprima si concentra sulla definizione del contesto e della situazione di partenza dell'azienda, fondamentale per comprendere le problematiche esistenti ed individuare i punti critici.

Dopo la definizione delle metodologie e degli strumenti applicati, l'elaborato analizza l'introduzione e implementazione delle automazioni, individuandone i benefici i termini di tempi e costi. Infine sono illustrati i principali risultati ottenuti e i possibili sviluppi futuri.

## **Abstract**

This thesis work is the result of an internship carried out at NEXMAN S.r.l. based in Vecchiano (Pisa). It's a company that operates in customer support to involve and optimize industrial productive processes in a perspective of Industry 4.0.

The purpose of this document is analyzing the manufacturing process of a NEXMAN customer company, manufacturer of pellet with a high concentration of additive, in order to bring innovation systems such as industrial and collaborative robots and autonomous mobile robots.

The work focuses at first on the definition of the context and of the company's initial situation, crucial to understand existing problems and identifying critical points.

After the definition of the applied methodology and tools, the document analyzes the automations' introduction and implementation, identifying time and cost benefits.

Lastly, the main results obtained and possible future developments are presented.

## **1. Introduzione**

Il lavoro svolto presso NEXMAN S.r.l. ha come obiettivo l'introduzione di innovazioni automatiche nel processo produttivo dell'azienda cliente. Durante il periodo di tirocinio ho collaborato con l'Executive Partner al fine di analizzare il flusso di produzione dell'azienda ed evidenziare le attività critiche per proporre e verificare le soluzioni individuate per il miglioramento.

### **1.1 NEXMAN S.r.l.**

NEXMAN è Start-up innovativa, con sede a Vecchiano, in provincia di Pisa che opera nel contesto di Industria 4.0. È un'azienda creata da professionisti con 30 anni di esperienza nella gestione degli stabilimenti, nella pianificazione della produzione, nella gestione logistica e nel mondo della programmazione e integrazione informatica. La sua mission è supportare le aziende manifatturiere ad innovare il processo produttivo automatizzando attività critiche e non efficienti.

### **1.2 Industria 4.0**

Con tale termine si indica l'introduzione, in ambito industriale, delle tecnologie digitali all'avanguardia per l'automatizzazione e l'ottimizzazione dei processi produttivi. L'Industria 4.0, includendo un mix tecnologico di robotica, sensoristica, connessione e programmazione, rappresenta una nuova rivoluzione rispetto al modo di fabbricare i prodotti e di organizzare il lavoro.

Il Piano Nazionale Industria 4.0 2017-2020 è un pacchetto di incentivi e strumenti che mira a creare un contesto favorevole per aiutare le aziende italiane a cogliere le opportunità della quarta rivoluzione industriale. Tra le misure adottate ci sono l'Iper Ammortamento, il Super Ammortamento e il Credito d'Imposta in Ricerca e Sviluppo. Il piano Nazionale Transizione 4.0 2021-2022, in sostituzione a Iper Ammortamento e Super Ammortamento, propone i Crediti d'Imposta.

### **1.3 Azienda cliente**

L'azienda cliente svolge il processo di fabbricazione di materie plastiche in forme primarie, pellet ad alta concentrazione di additivi denominati masterbatch. Con il termine pellet si indicano piccoli granuli in materiale plastico di varia forma, costituiti da polimero o da una miscela polimerica e utilizzati come materia prima per la realizzazione dei prodotti finiti in

materiale plastico. Il masterbatch, in figura 1, è un particolare tipo di pellet con un'elevata concentrazione di additivi.



Fig. 1: Masterbatch

## 2 Situazione as-is azienda cliente

L'azienda ha deciso di modificare il suo sistema produttivo perché riscontra difficoltà nella saturazione delle macchine produttive e difficoltà nel trovare operatori disposti a svolgere alcune attività. Ho provveduto ad analizzare l'azienda cliente dal punto di vista delle attrezzature, delle risorse utilizzate e delle attività del processo produttivo al fine di migliorare l'attività lavorativa di ciascun operatore, ridurre i tempi di ciclo, incrementare la produttività e ridurre le attività a non valore aggiunto.

### 2.1 Attrezzature utilizzate

L'azienda possiede le seguenti attrezzature:

24 Coni: Contenitori metallici in figura 2 in cui viene posta la materia prima (pigmento, in figura 3, e massivo, in figura 4) da lavorare. Transitano dalla zona di pesatura/miscelazione fino all'estrusione per poi andare nella zona di pulitura e/o di nuovo nella zona di pesatura.

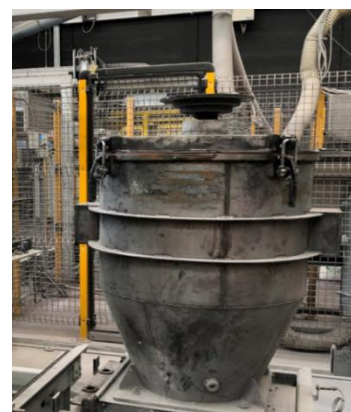


Fig.2: Cono



Fig. 3: Pigmenti



Fig. 4: Massivo

Magazzino automatico pigmenti: Magazzino a scaffalature in cui un robot va a prelevare il pigmento richiesto dall'operatore.

Sistema di miscelazione: Sistema che capovolge il cono e permette la miscelazione della materia prima all'interno del cono, attivando una girante posta sotto il tappo dello stesso.

Sistema di movimentazione: Sistema di movimentazione che trasporta il cono dalla zona di miscelatura all'estrusore attraverso guide fisse e, terminato lo scarico della miscela nell'estrusore, lo porta a terra.

Muletto: Mezzo utilizzato per trasportare i massivi dal magazzino alla zona di pesatura.

6 Estrusori: Macchine che svolgono il processo di estrusione.

Carrelli: Mezzi di movimentazione con ruote che permettono il carico e lo scarico di un oggetto.

## 2.2 Processo produttivo as-is

Ho analizzato il reparto di produzione di pellet che è visibile nel layout di figura 5 in cui sono evidenziate le zone principali di lavorazione: pesatura, miscelazione, estrusione e pulitura. La fase di movimentazione materiale, di pesatura e di pulitura vengono svolte manualmente da un operatore, la fase di miscelazione, di trasporto e quella di estrusione invece sono effettuate da macchine apposite quali la macchina di miscelazione, il sistema di movimentazione e sei estrusori.

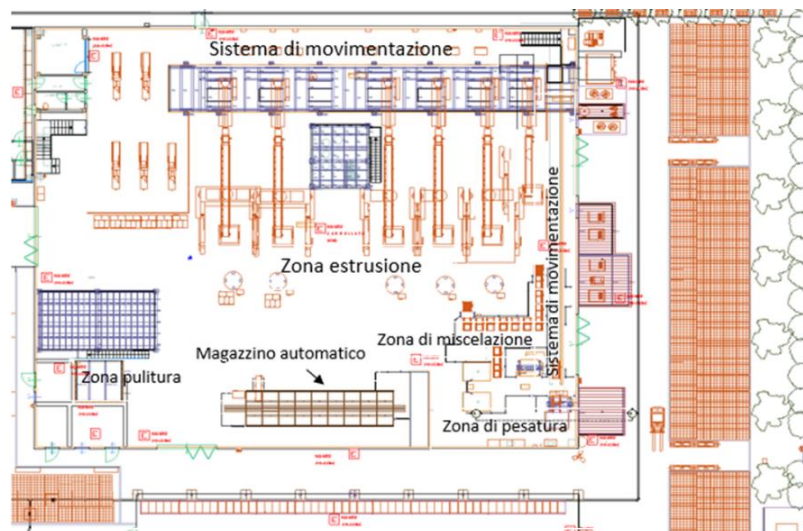


Fig.5: Layout processo produttivo situazione as-is

Ho realizzato una mappatura dei processi aziendali della situazione as-is che ha consentito di comprendere il flusso dei materiali all'interno dello stabilimento appena visto.

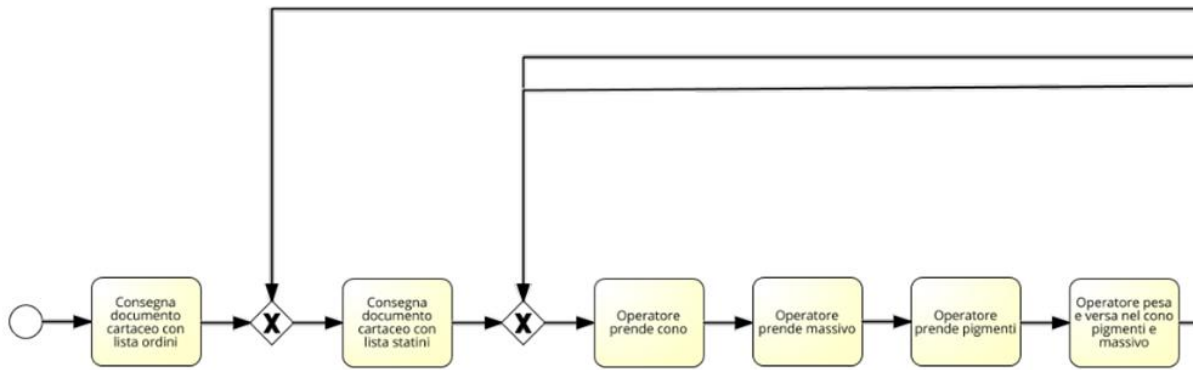


Fig. 6: Mappatura dei processi dell'azienda cliente nella situazione as-is parte 1

Nella prima parte, rappresentata dal flusso in figura 6, il processo produttivo inizia con l'arrivo del documento contenente la lista degli ordini, ogni ordine è composto da uno o più statini all'interno dei quali si trova la distinta base delle polveri necessarie per la produzione di pellet. L'operatore prende un cono, leggendo il documento contenente la distinta base, va a prelevare i massivi dal magazzino centrale con un muletto e richiama dal magazzino automatico i pigmenti; i materiali vengono portati alla zona di pesatura. Ogni componente dopo essere stato pesato viene versato dall'operatore nel cono, che viene chiuso con un tappo per poter effettuare la fase successiva.

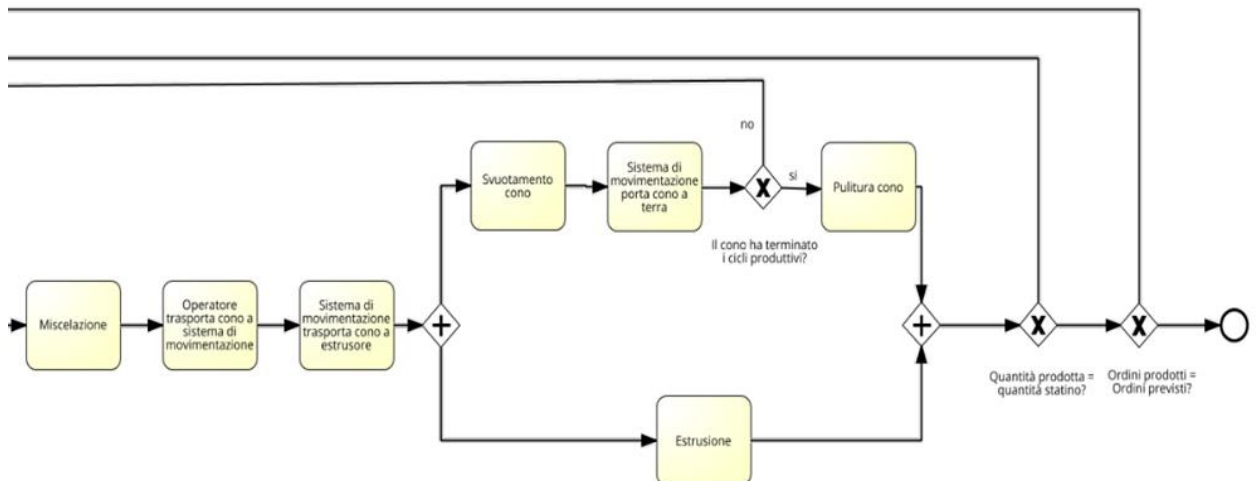


Fig. 7: Mappatura dei processi dell'azienda cliente nella situazione as-is parte 2

Nella seconda parte del flusso, in figura 7, il cono viene caricato sulla macchina di miscelazione che lo afferra tramite due pinze, lo capovolge e ne effettua la mescolatura, ottenendo un composto omogeneo. Dopodiché l'operatore porta il cono al sistema di movimentazione che attraverso delle guide fisse lo trasporta alla macchina di estrusione (pianificata nella distinta/statino). Al cono posizionato sull'estrusore, viene rimossa la superficie inferiore e così per gravità il composto cade nell'estrusore; mentre l'estrusore lavora il composto, il cono

svuotato viene riportato a terra dal sistema di movimentazione. Una volta a terra il cono può svolgere altri cicli produttivi oppure essere pulito, rispetto al grado di incrostazione. Nell'attività di pulitura un operatore pulisce manualmente il cono, prima con una spazzola di ferro e dopo con una lancia ad acqua a pressione. Terminata la lavorazione di estrusione, ci sono due controlli: il primo è il controllo sullo statino, si verifica se la quantità di pellet prodotta è uguale alla quantità scritta sulla distinta base; se no si torna a prendere un cono e si continua il ciclo, se lo statino è stato prodotto nella quantità richiesta, si passa a controllare se la quantità degli ordini prodotti sia uguale alla quantità desiderata.

### 2.3 Simulazione processo produttivo as-is

Ho effettuato l'analisi con l'utilizzo di un software di simulazione: Arena Simulation. Questo permette di evidenziare le attività colli di bottiglia. Per la simulazione sono stati presi i tempi di ogni attività con un cronometro. A seguito di 15 ripetizioni è stata stilata una tabella contenente, per ogni attività, il tempo medio e la deviazione standard, questi sono stati inseriti nel modello di simulazione. Il risultato è rappresentato nella figura 8:

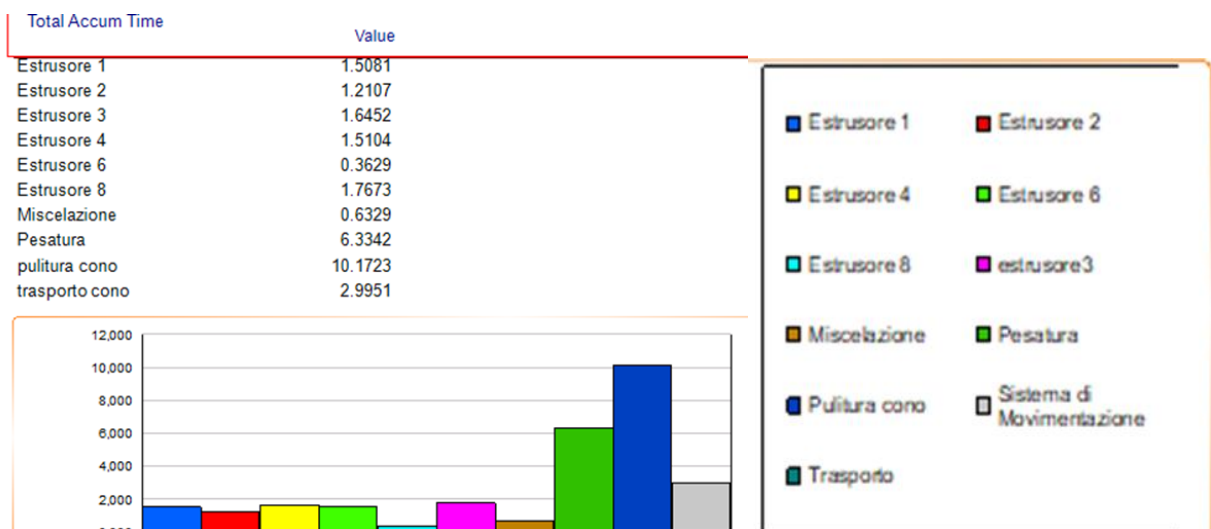


Fig. 8: Risultati simulazione processo produttivo as-is

Il grafico mostra il tempo cumulato in ore per ogni attività del processo, se ne evidenziano due che rallentano il flusso produttivo: la pesatura in verde scuro, intesa come movimentazione materiale e pesatura vera e propria, e la pulitura in blu scuro.

### 2.4 Criticità riscontrate

Durante l'analisi della situazione as-is è emersa principalmente la criticità delle attività svolte manualmente dagli operatori che rallentano il flusso, creando code e discontinuità nel processo. Queste sono la movimentazione materiale, la pesatura e la pulitura.

- Le attese maggiori sono quelle antecedenti queste operazioni e ciò significa che rispetto al tempo medio di tutte le attività, queste durano di più e comportano interruzioni e attese nel flusso produttivo.
- Lavorando materiale composto da polveri sottili, gli operatori devono indossare dispositivi di protezione come maschere anti-polvere e tute TNT durante tutta la durata del turno. Questa situazione, sommata al fatto che sono attività faticose e usuranti, rende difficile trovare personale disponibile per tali attività. La criticità della fase di pulitura si riscontra nel fatto che l'operatore riesce a pulire solo un cono al giorno, di conseguenza ogni cono viene pulito ogni 24 giorni.
- Si evidenziano inoltre inefficienze in ambito ambientale. La fase finale di pulitura, eseguita con l'utilizzo di una lancia ad acqua a pressione, consuma molti litri di acqua che vengono successivamente smaltiti come acque reflue. Questo rappresenta sia un costo per l'azienda sia uno spreco per l'ambiente.

### 3 Situazione to be azienda cliente

A seguito dell'analisi precedentemente svolta, per ottimizzare la produzione si prevede l'automazione di tre attività che sono state riscontrate critiche: la movimentazione cono, pigmenti e massivi, la pesatura pigmenti e massivi e la pulitura cono con l'utilizzo di robot industriali e collaborativi e veicoli a guida autonoma.

#### ROBOT INDUSTRIALI E COLLABORATIVI

L'automazione della attività di pesatura pigmenti prevede l'utilizzo di un robot munito di end effector con sessola che preleva dal contenitore (vaschetta) i pigmenti, li dosa e li versa nel cono. Il robot scelto è il cobot M0617, in figura 9, configurato in modo da calcolare il peso dei pigmenti tramite celle di carico poste sull'end effector.



Fig. 9: Cobot M0617

Per la dosatura dei massivi si introduce il robot GP50, in figura 10, che preleva i sacchi dei massivi dai pallet, li taglia e ne versa il contenuto nel cono.



Fig. 10: Robot GP50

Per la fase di pulitura del cono viene utilizzato il robot GP180, rappresentato in figura 11, dotato di un end effector completo di una spazzola di ferro, rappresentato in figura 12.



Fig. 11: Robot GP180



Fig. 12: End Effector con spazzola di ferro



## VEICOLI A GUIDA AUTONOMA

Per automatizzare l'attività di movimentazione dei pigmenti viene scelto il Mir 100, in figura 13, questo robot mobile ha una portata di 100 kg e trasporta i pigmenti dal magazzino automatico alla zona di pesatura.



Fig.13: Mir 100

Il robot mobile Mir 500, in figura 14, è introdotto nel processo produttivo per svolgere la movimentazione dei coni. Questo possiede una portata di 500 kg, preleva il cono dalla zona parcheggio e lo trasporta nella zona di pesatura/riempimento. Una volta che il cono è stato riempito lo porta al sistema di miscelazione e lo scarica. È configurato con un piano di carico completo di un dispositivo per il blocco del cono durante il trasporto.



Fig.14: Mir 500

Infine l'attività di movimentazione dei pallet contenenti i massivi è svolta dall'Amr 1500, in figura 15. È un robot mobile autonomo con una portata di 1500 kg. A seguito dell'introduzione dei robot e dei veicoli a guida autonoma ho provveduto a realizzare la mappatura delle fasi di lavorazione in cui le attività manuali risultate critiche sono state automatizzate.



Fig.15: AMR 1500

La movimentazione del cono è svolta dal Mir 500, rappresentata in figura 16:

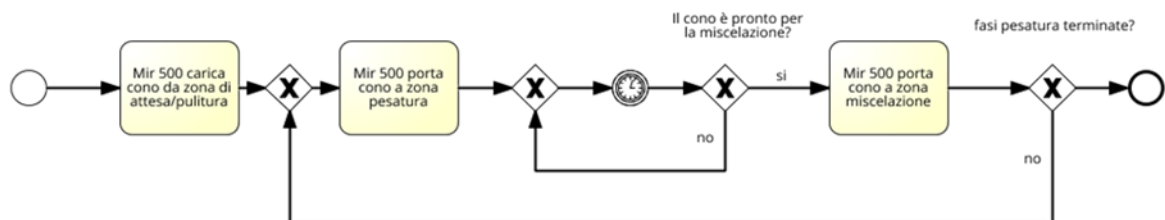


Fig.16: Fase di movimentazione cono

A seguito dell'arrivo di un ordine i materiali vengono prelevati dai rispettivi magazzini dai veicoli a guida autonoma, i pigmenti dal Mir 100 e i massivi dall'Amr 1500, come rappresentato nella figura 17, che provvedono a portarli alla zona di pesatura:

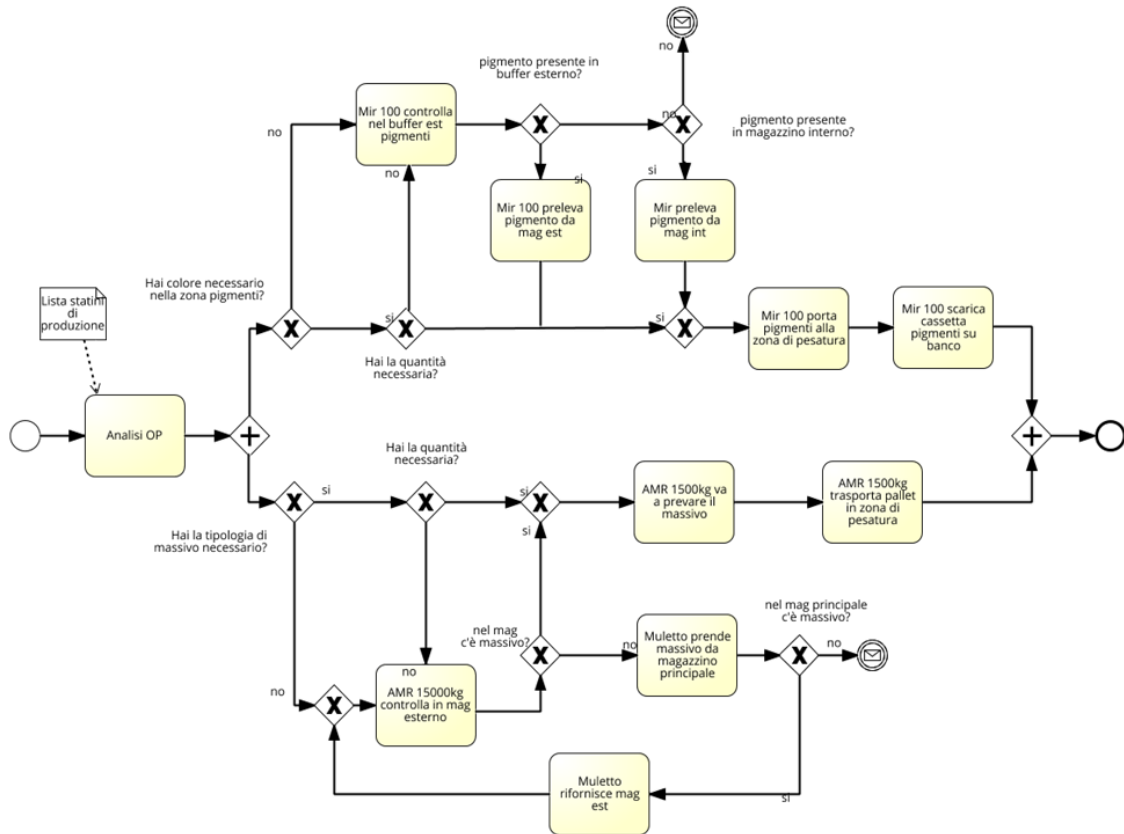


Fig. 17: Fase di movimentazione pigmenti e massivi con Mir 100 e Amr 1500

La fase di pesatura pigmenti viene svolta dal Cobot M0617, in figura 18:

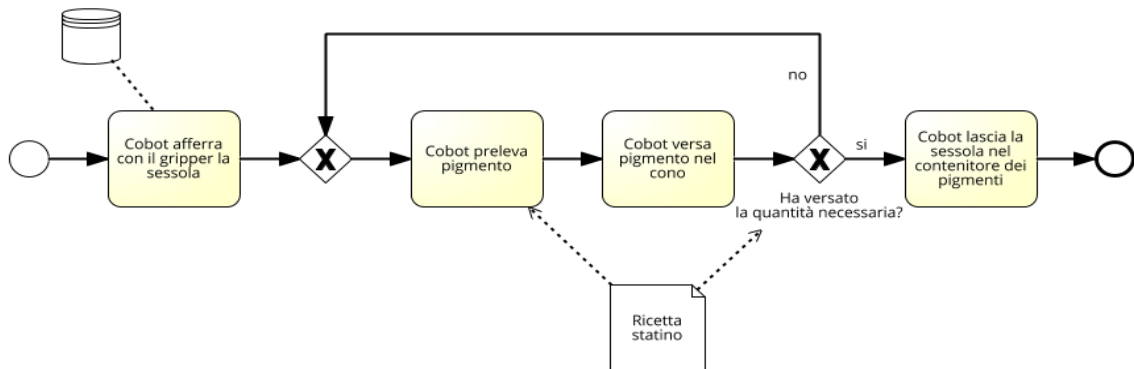


Fig. 18: Fase di pesatura pigmenti con Cobot M0617

La fase di pesatura massivi svolta da GP50 è rappresentata in figura 19:

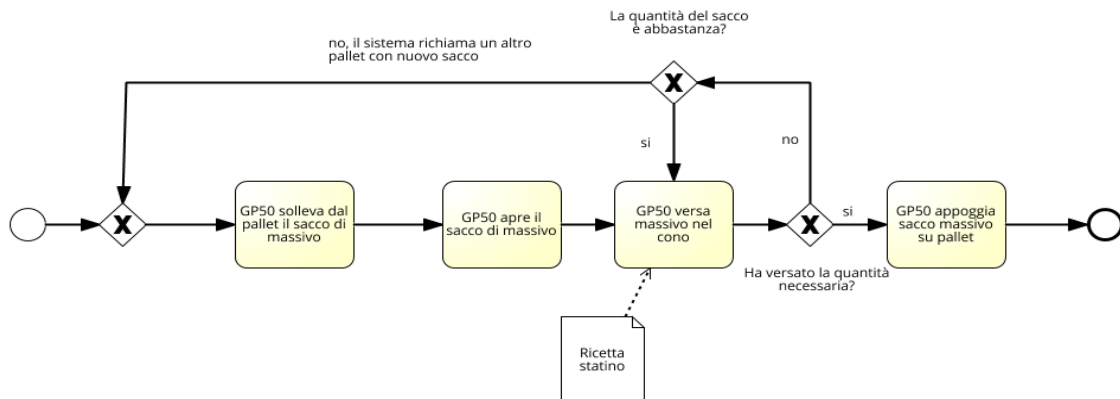


Fig. 19: Fase di pesatura massivi con GP50

### 3.1 Simulazione processo produttivo to be

Ho realizzato la simulazione della proposta di automazione con il software Arena Simulation al fine di effettuare un confronto con la simulazione della situazione as-is. Le differenze nella simulazione to be rispetto all'as-is sono relative al processo di movimentazione materiali e pesatura, chiamato 'Pesatura', e il processo di pulitura. I tempi sono stati stimati in base alle caratteristiche tecniche dei robot relativamente alle attività da compiere. Il risultato della simulazione è il seguente di figura 20:

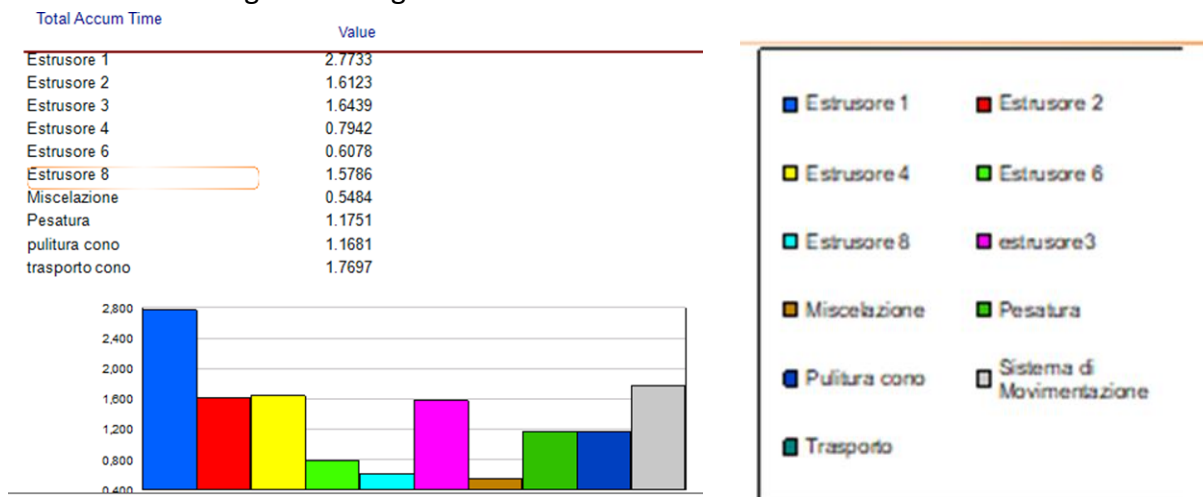


Fig. 20: Risultati simulazione processo produttivo to be

Con questo istogramma si nota che le colonne dei tempi accumulati, misurati in ore, riferita alla pesatura e alla pulitura sono diminuite sensibilmente rispetto alla situazione as-is. Pertanto con l'utilizzo delle automazioni proposte si vanno a risolvere le criticità riscontrate.

## 4 Analisi tempi e costi

Ho provveduto ad effettuare l'analisi dei tempi e costi allo scopo di valutare l'investimento in automazione. Per l'analisi dei tempi si confrontano i tempi ciclo della situazione as-is e di quella to be. Per l'analisi dei costi vengono analizzati quelli relativi alle attività svolte manualmente, che vengono sostituite da sistemi automatici, con il costo dell'investimento in automazione.

### 4.1 Confronto tempi situazione as-is e investimento to be

Si confrontano i tempi della situazione as-is con quelli dell'investimento to be. Si riporta il tempo di ciclo del cono inclusa la fase di pulitura.

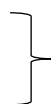
Tempo ciclo processo as-is: 290,48 minuti	}	Riduzione del <b>21,83%</b>
Tempi ciclo processo to be: 227,06 minuti		

Accade però che in realtà il cono, una volta che è stato svuotato, non vada sempre in pulitura ma rimanga nel parcheggio per poi andare di nuovo in pesatura perché viene

utilizzato per lo stesso colore o un colore più scuro. Si calcola quindi il tempo ciclo senza la fase di pulitura.

Tempo ciclo processo as-is: 49,87 minuti

Tempi ciclo processo to be: 36,58 minuti



Riduzione del **26,65%**

Si considera inoltre l'aumento di produttività della fase di pulitura che nella situazione as-is vede un solo cono pulito al giorno mentre il robot ne fa 8 al giorno: aumento del 700%.

Si analizzano inoltre le 6 macchine di estrusione che vengono rifornite dai coni di capacità 100kg. La velocità di estrusione è in media 50 kg/h quindi per lavorare 100 kg hanno un'autonomia di 2 ore. Nella situazione as-is le attività di movimentazione e pesatura hanno una durata di 30 minuti, i coni pesati ogni ora sono due e il processo riesce ad alimentare al massimo 4 estrusori in contemporanea. Nella situazione to be le attività di movimentazione e pesatura hanno una durata di 17,75 minuti, i coni pesati ogni ora sono 3,38 e quindi il processo riesce ad alimentare tutti e 6 estrusori in contemporanea. Si ha così un aumento di capacità produttiva del 50%.

#### **4.2 Confronto costi situazione as-is e investimento to be**

A seguito dell'analisi tempi, ho effettuato il confronto tra i costi sostenuti nella situazione as-is e quelli sostenuti con l'investimento della situazione to be.

Costi Situazione as-is = Costo manodopera pesatura + Costo manodopera movimentazione materiali + Costo manodopera pulitura + Costo smaltimento rifiuti speciali =  
44.000 + 88.000 + 22.000 + 36.000 = **190.000 €/anno.**

Costi investimento robot = Costo robot e cobot pesatura + Costo Mir + Costo robot pulitura + Costi programmazione + Costi manutenzione = 93.050 + 265.500 + 48.250 + 48.000 + 46.800 = **406.800 €.**

Il pareggio dell'investimento si ottiene in:  $406.800 / 190.000 = 2,14 \rightarrow$  2 anni e 2 mesi.

Il Piano Transizione 4.0 prevede per i beni materiali un credito pari al 50% del costo per investimenti e per i beni immateriali un credito pari al 20% del costo. Il costo dell'investimento al netto degli incentivi diminuisce da 406.800 € a 241.200 €, in questa situazione l'investimento si ammortizza in:  $241.200 / 190.000 = 1,27 \rightarrow$  1 anno e 3 mesi.

### **5 Piano di miglioramento**

Dalla analisi tempi e costi è scaturita la proposta di un piano di miglioramento che ho strutturato in tre azioni:

1. Implementazione della fase di pulitura con il Robot GP180;

2. Implementazione della fase di pesatura con Cobot M0617 e Robot GP50;
3. Implementazione della fase di movimentazione con Mir 500, Mir 100 e Amr 1500.

## 6 Validazione

La prima azione implementata è stata validata e sono stati raggiunti gli obiettivi prefissati:

- Aumento dei coni puliti giornalmente da 1 a 8 con incremento del 700% che consente la pulitura dei 24 coni in 3 giorni;
- Ritorno dell'investimento in 10 mesi;
- Ritorno dell'investimento con gli incentivi di Transizione 4.0 in 6 mesi.

A seguito dell'introduzione del robot GP180 dotato di end effector con spazzola e sistema di aspirazione di figura 21, il cono da pulire, in figura 22, viene perfettamente pulito a lucido, come si vede in figura 23.



Fig. 21: Robot GP180



Fig. 22: Cono da pulire



Fig. 23: Cono pulito

Oltre ad aspetti economico-finanziari con l'investimento si ha un miglioramento delle condizioni di lavoro degli operatori, grazie all'automazione di attività faticose e usuranti per la salute umana, e di quelle ambientali evitando lo spreco di molta acqua.

## 7 Conclusioni

L'automazione del processo produttivo, relativo alle 3 azioni individuate, porta ai seguenti risultati:

- Riduzione del tempo di ciclo del cono (inclusa pulitura) del 21,83%;
- Riduzione del tempo di ciclo del cono (esclusa pulitura) del 26,65%;

- Aumento dei coni puliti al giorno da 1 a 8 con incremento del 700%;
- Saturazione dei 6 estrusori con incremento di capacità produttiva del 50%;
- Ritorno dell'investimento in due anni e due mesi;
- Ritorno dell'investimento con gli incentivi di Transizione 4.0 in un anno e tre mesi.
- Maggior soddisfazione lavorativa degli operatori che non svolgono più attività faticose e usuranti.

Il cliente durante il tempo del mio tirocinio ha implementato la prima azione di miglioramento, quella di pulitura con robot GP180, e conta di implementare anche le altre due azioni entro la fine del 2021.