



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN  
INGEGNERIA MECCANICA

# STUDIO DI UNA LINEA DI PRODUZIONE DI SOTTOLI ATTRAVERSO SIMULAZIONI IN AMBIENTE AUTOMOD

**Relatore**

**Prof. Emilio Ferrari**

**Presentata da**

**Gianmarco Alpini**

**Correlatore**

**Prof. Marco Bortolini**

---

**Sessione marzo 2025**

**Anno Accademico 2023/2024**



# INDICE

ABSTRACT .....	5
INTRODUZIONE.....	6
1_LA LINEA DI PRODUZIONE.....	8
1.1_Riempitrice.....	8
1.2_Colmatrice sottovuoto .....	8
1.3_Capsulatrice automatica lineare .....	10
1.4_Metal detector .....	11
1.5_Lavatrice.....	11
1.6_Pastorizzatore a pioggia.....	12
1.7_Controllo a raggi X e vacuum detector .....	14
1.8_Soffiatura e uscita .....	14
1.9_Deviazione per l'aggraffatrice.....	14
1.10_Nastri trasportatori .....	15
2_MODELLAZIONE SU AUTOMOD.....	16
2.1_Il load.....	16
2.2_Variabili e label.....	17
2.3_Il sistema di movimentazione conv .....	17
2.4_Riempitrice.....	18
2.5_Colmatrice.....	20
2.6_Capsulatrice .....	22
2.7_Metal detector .....	23
2.8_Lavatrice.....	25
2.9_Tunnel del trattamento termico .....	27
2.10_Controllo a raggi X e controllo sul vuoto .....	30
2.11_Soffiatura e uscita dal sistema.....	32
3_SIMULAZIONI.....	34

<b>3.1_Simulazione a 2000 prod/ora .....</b>	<b>35</b>
<b>3.1.1_Linea generale .....</b>	<b>35</b>
<b>3.1.2_Utilizzo colmatrici.....</b>	<b>36</b>
<b>3.1.3_Trattamento termico .....</b>	<b>37</b>
<b>3.1.4_Buffer in uscita.....</b>	<b>38</b>
<b>3.2_Simulazione a 4000 prod/ora .....</b>	<b>39</b>
<b>3.2.1_Linea generale .....</b>	<b>39</b>
<b>3.2.2_Utilizzo colmatrici.....</b>	<b>40</b>
<b>3.2.3_Trattamento termico .....</b>	<b>41</b>
<b>3.2.4_Buffer in uscita.....</b>	<b>42</b>
<b>3.3_Simulazioni a 6000 prod/ora.....</b>	<b>43</b>
<b>3.3.1_Linee generali .....</b>	<b>43</b>
<b>3.3.2_Utilizzo colmatrici.....</b>	<b>46</b>
<b>3.3.3_Trattamento termico .....</b>	<b>47</b>
<b>3.3.4_Buffer in uscita.....</b>	<b>51</b>
<b>4_CONCLUSIONI.....</b>	<b>53</b>

## ABSTRACT

Questa tesi di laurea ha come obiettivo lo studio di una linea di produzione di sottoli, già progettata in precedenza, attraverso la sua simulazione tramite il software Automod.

Il punto di arrivo è la verifica della linea rispetto a diversi valori di produttività richiesta.

Dapprima verrà presentata una panoramica generale sul funzionamento dell'impianto, seguita dalla descrizione dei passaggi fondamentali per la trasposizione in Automod, compresa degli script utilizzati per i vari process presenti.

La parte finale sarà invece dedicata alla discussione dei risultati delle simulazioni.

# INTRODUZIONE

La tesi è frutto del mio percorso di tirocinio presso l'azienda Big Project di Santarcangelo, in cui è stato possibile assistere alle parti finali di un progetto riguardante un impianto per la produzione di sottoli e sottaceti, in cui sono stati dimensionati tutti i nastri trasportatori e una parte delle macchine, visto che alcune erano già presenti nella linea.

Il presente lavoro consiste nella modellazione tramite software di simulazione Automod dell'impianto, per poterne studiare eventuali problematiche e punti deboli.

La linea in questione ha una potenzialità richiesta di 4000 prodotti all'ora e parte dall'arrivo dei barattoli vuoti, arrivando all'uscita con il prodotto sigillato e pastorizzato, ma senza etichetta dato che quest'ultima viene apposta in un secondo momento.

Di seguito sono allegate un'immagine del progetto originale e la sua trasposizione in Automod, così da poter confrontare la linea e il suo modello.

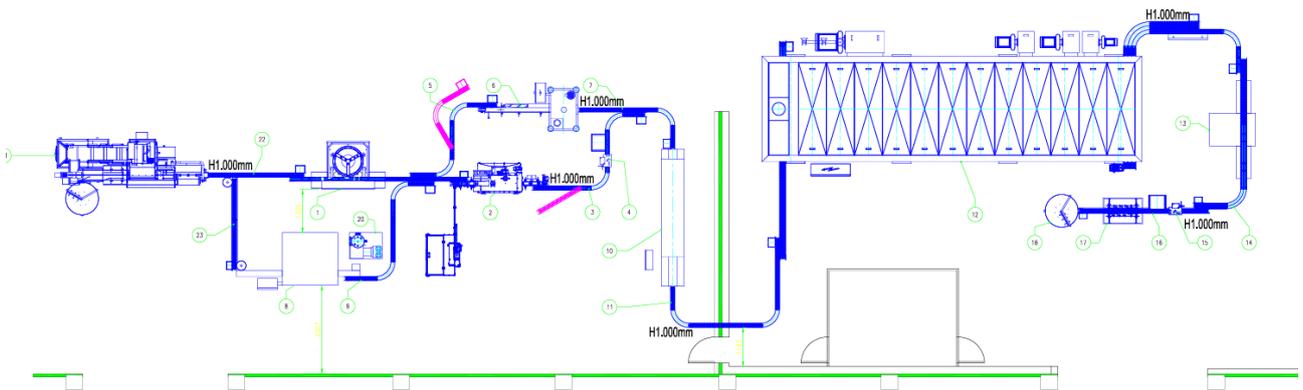


Figura 1: Linea di produzione intera come da progetto

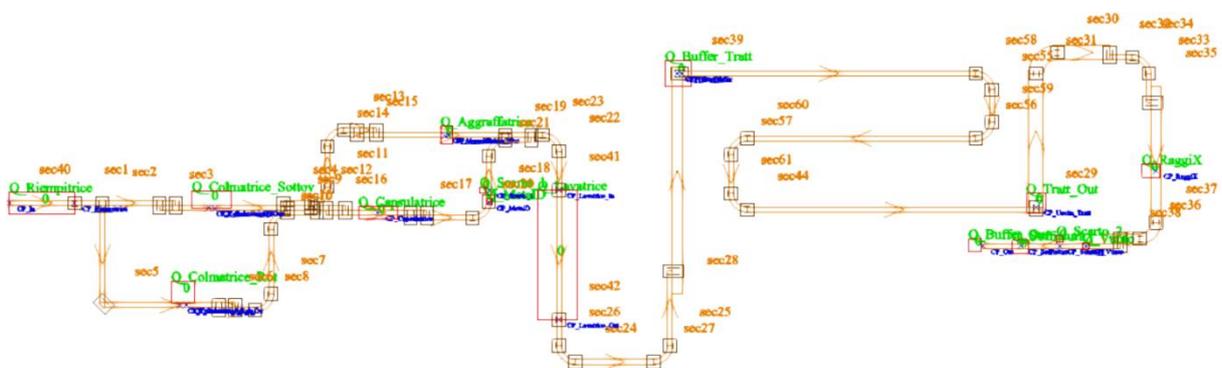


Figura 2: Linea di produzione riprodotta in Automod

Le macchine che sono presenti nella linea originale sono state riportate nel modello Automod utilizzando prevalentemente delle queue, che si possono individuare dalle diciture in verde “Q\_” seguite dal nome della macchina stessa.

L'unico macchinario che non è stato riprodotto in questo modo è il tunnel del trattamento termico, che è indicato dal numero 12 nel progetto (fig.1) e per il quale è stato utilizzato un approccio diverso così da renderlo più simile al suo reale funzionamento.

Questo passaggio verrà poi chiarito successivamente.

Dato che da progetto la linea ha una potenzialità media richiesta di 4000 prodotti all'ora, per le simulazioni si sono ipotizzate una produttività minima di 2000 prodotti all'ora e una massima di 6000 prodotti all'ora, così da avere 3 simulazioni da confrontare.

Come tipologia di prodotto si è preso in considerazione un formato di barattolo da 314 ml, con un diametro pari a 53 mm e una altezza di circa 140 mm.

I barattoli in questione percorrono tutti i nastri trasportatori in fila indiana uno di fronte all'altro.

# 1\_LA LINEA DI PRODUZIONE

Di seguito verrà descritto il funzionamento dell'impianto e delle macchine che lo compongono.

## 1.1\_Riempitrice

La prima macchina che si incontra nell'impianto è la riempitrice, con dimensioni in pianta circa 5 x 1.7 m, che si occupa dell'inserire gli alimenti all'interno dei barattoli vuoti.

È una delle macchine che il cliente già possedeva, non è stata quindi progettata da zero.

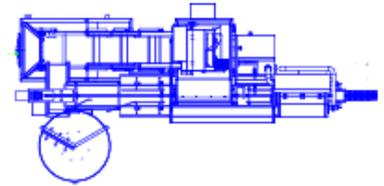


Figura 3: Riempitrice vista in pianta

I barattoli arrivano, già puliti e sterilizzati, tramite un piatto rotante sul quale un operatore li posiziona e vengono man mano indirizzati sul nastro interno alla macchina, mentre superiormente gli alimenti con cui riempirli vengono caricati tramite una tramoggia.

Il nastro trasportatore vibra leggermente, così che i barattoli vengano riempiti correttamente e avvenga anche la scolmatura, per eliminare gli eccessi di alimenti oltre l'orlo del barattolo; sotto questo nastro ne è infatti installato un secondo che raccoglie ciò che può cadere in questa fase.

## 1.2\_Colmatrice sottovuoto

I barattoli in uscita dalla riempitrice arrivano alla colmatrice sottovuoto per essere riempiti con olio, salamoia o altri liquidi, in base al prodotto finale.

I vasetti di vetro arrivano tramite il nastro trasportatore nella stella di trasferimento che li posiziona sotto le valvole di colmatura.

Queste ultime scendono sui barattoli, creano il vuoto aspirando l'aria e poi colmano con l'olio.

Il vuoto serve per avere un processo di colmatura molto più rapido.

Una volta riempito il barattolo le valvole si alzano e la stella di trasferimento fa arrivare i prodotti successivi, lasciando quelli appena lavorati sullo stesso nastro trasportatore da cui sono arrivati per continuare il loro percorso.

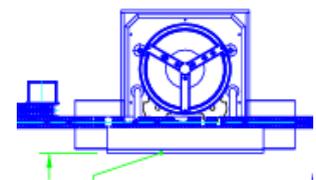


Figura 4: Colmatrice sottovuoto vista in pianta

Questa macchina ha come dimensioni in pianta 3 x 1.35 m, di seguito è allegata una immagine presa dal software di modellazione 3D Creo.

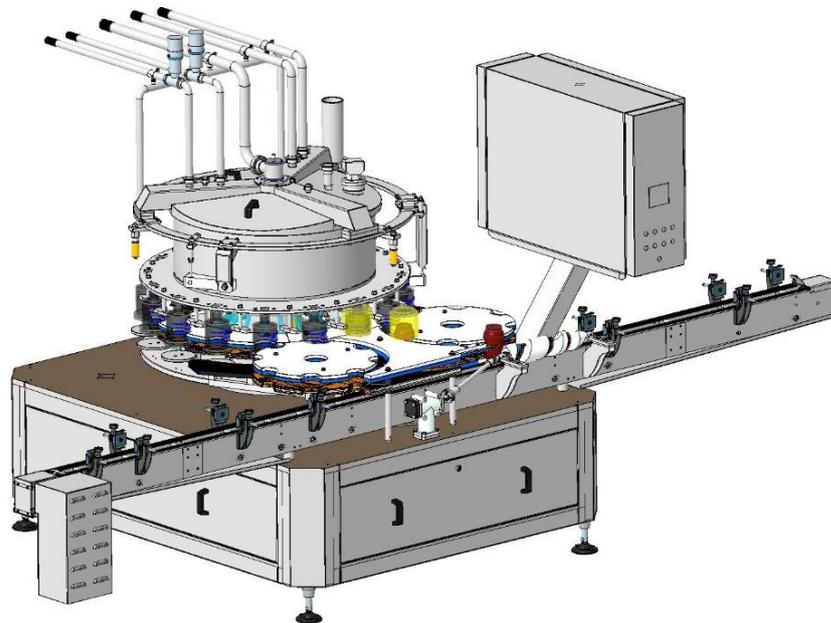


Figura 5: immagine della colmatrice sottovuoto da Creo

Si possono notare il nastro trasportatore, che è lo stesso sia per l'arrivo sia per la partenza dei barattoli, le stelle di trasferimento che caricano i barattoli per essere posizionati sotto alle valvole di riempimento e le valvole stesse situate nella parte posteriore rispetto alla visuale.

Questo macchinario lavora in parallelo ad una colmatrice rotativa già esistente sulla linea del cliente; nella pianta si può infatti notare una deviazione del nastro trasportatore (fig.1).

La differenza sostanziale tra le due è che in quella del cliente il vuoto viene creato da una appendice esterna alla macchina, che si può notare alla sua destra con il numero 20, mentre nel caso della colmatrice appena descritta il basamento del vuoto si trova direttamente sotto ad essa.

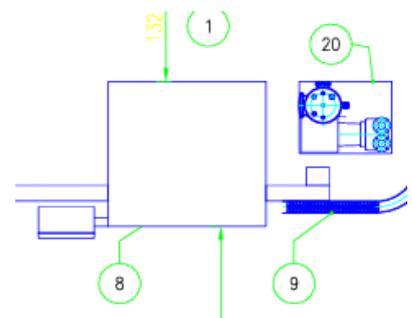


Figura 6: Colmatrice rotativa già esistente sulla linea

### 1.3\_ Capsulatrice automatica lineare

La linea di produzione continua verso la capsulatrice, che ha il compito di chiudere ogni barattolo con il proprio coperchio e che non si occupa però della creazione del sottovuoto per sigillarli.

La macchina si limita a posizionare i tappi superiormente ad ogni barattolo e ad applicare una pressione tale per cui i coperchi siano fermi in posizione, ma senza essere sigillati ermeticamente.

I tappi in questione arrivano alla macchina tramite un alimentatore magnetico che è dotato di sensori per individuare i casi in cui siano nel verso sbagliato per poi eliminarli, evitando errori.

La macchina è regolabile per i diversi formati dei barattoli che possono interessare la produzione e ha la più alta produttività della linea, può arrivare infatti a lavorare 14000 pezzi all'ora.

Le dimensioni in pianta sono di 3 x 1 m, ma arrivano a 3,7 x 4,2 m se si considera pure l'alimentatore magnetico.

Anche di questa macchina è allegata una immagine presa dal software di modellazione.

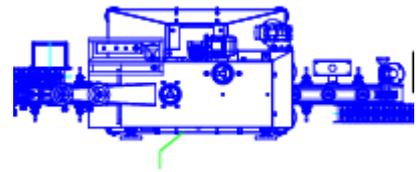


Figura 7: Capsulatrice lineare in pianta

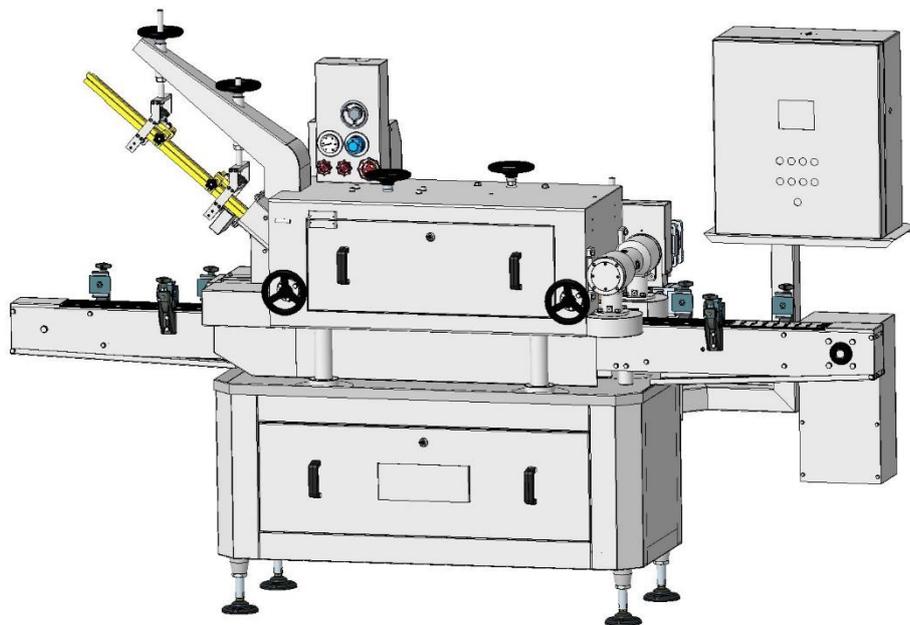


Figura 8: Capsulatrice automatica lineare da Creo

## 1.4\_ Metal detector

Una volta usciti dalla capsulatrice, i barattoli vengono sottoposti al primo dei controlli sulla linea.

I prodotti attraversano, infatti, un metal detector che ne controlla l'interno per verificare che non ci siano residui o piccoli oggetti metallici, derivanti dal precedente percorso fino alla capsulatura.

In caso si trovi un barattolo anomalo, quest'ultimo viene scartato grazie ad un cilindro pneumatico, montato a valle del metal detector, che lo devia fuori dalla linea verso lo spazio adibito a scarto.

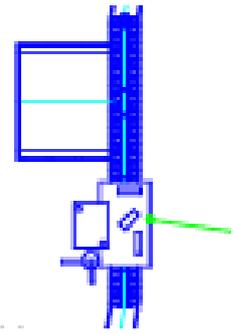


Figura 9: Metal detector e scarto in pianta

## 1.5\_Lavatrice

Il passaggio successivo serve a rimuovere eventuali residui di olio o alimenti che possono essere rimasti sulla superficie dei barattoli.

Questi ultimi infatti viaggiano su un nastro trasportatore che fa loro attraversare una lavatrice, lunga circa 4 metri, dotata di ugelli per pulirne l'esterno con dei getti d'acqua.

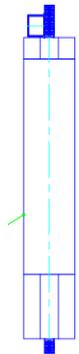


Figura 10: Lavatrice vista in pianta

Sono allegate immagini dell'esterno e dell'interno della macchina in questione.

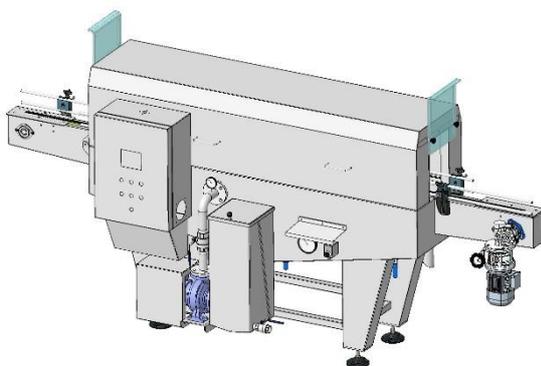


Figura 11: Lavatrice vista esternamente

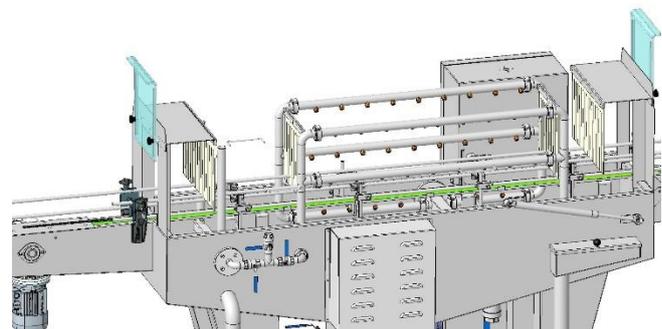


Figura 12: Lavatrice vista internamente

## 1.6\_Pastorizzatore a pioggia

Segue la fase più lunga, ma anche la più importante, del processo: la pastorizzazione tramite trattamento termico a pioggia.

I barattoli arrivano ad un nastro trasportatore molto largo, di 30 m<sup>2</sup> di superficie utile, che li fa passare sotto a numerose serie di ugelli che fanno piovere acqua a diverse temperature, così da avere la corretta pastorizzazione del prodotto al loro interno.

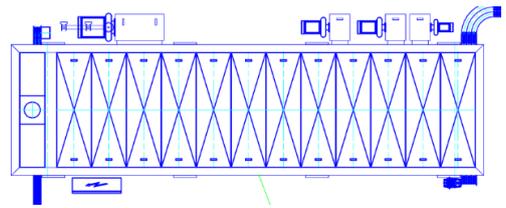


Figura 13: Tunnel del trattamento termico a pioggia in pianta

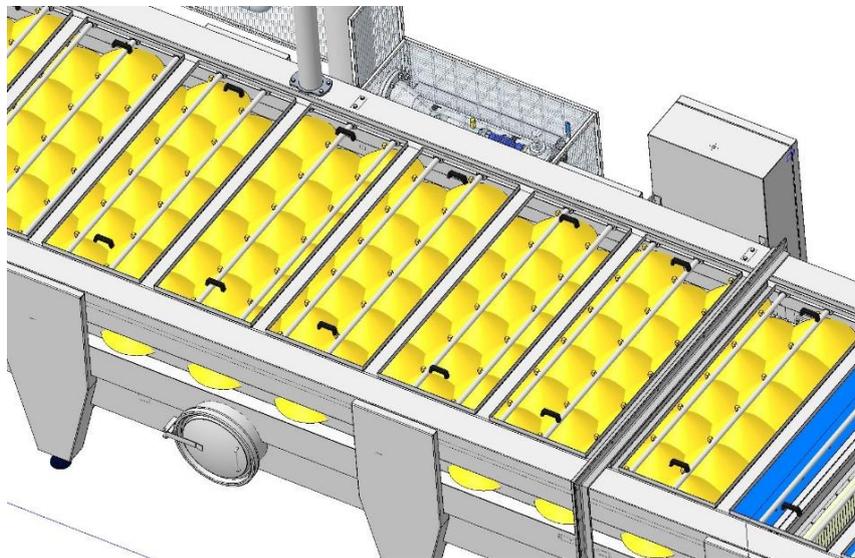


Figura 14: Tunnel di trattamento termico, vista interna lato ugelli

Il ciclo di lavoro totale dura indicativamente 60 minuti e si compone di 4 fasi con pioggia a diverse temperature:

- 95° C con acqua riscaldata tramite lo scambiatore di calore di cui è fornita la macchina e che serve per ottenere la pastorizzazione;
- 50°- 60° C temperatura ottenuta mediante la miscelazione dell'acqua dello scambiatore e l'acqua di rete;
- 30°- 40° C anche questa temperatura ottenuta tramite la miscelazione dell'acqua dello scambiatore e l'acqua di rete; questi ultimi due passaggi a temperatura intermedia servono per avere un raffreddamento controllato dei barattoli di vetro, dato che un raffreddamento repentino potrebbe causarne la rottura;
- 15°- 20° C temperatura ottenuta tramite immissione diretta dell'acqua di rete, così da raffreddare ulteriormente;

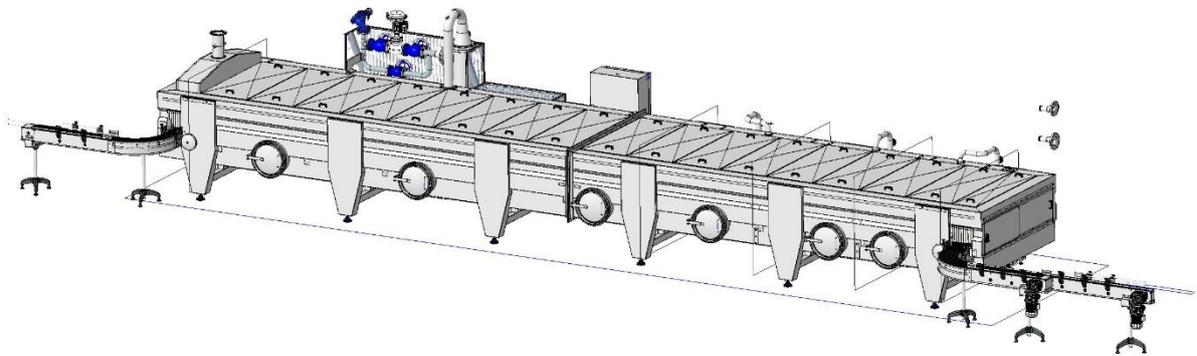
I barattoli entrano ad una temperatura di circa 40° C ed escono ad una temperatura di circa 35° C.

In generale, la macchina è regolabile per diversi prodotti con diversi tempi e temperature di pastorizzazione.

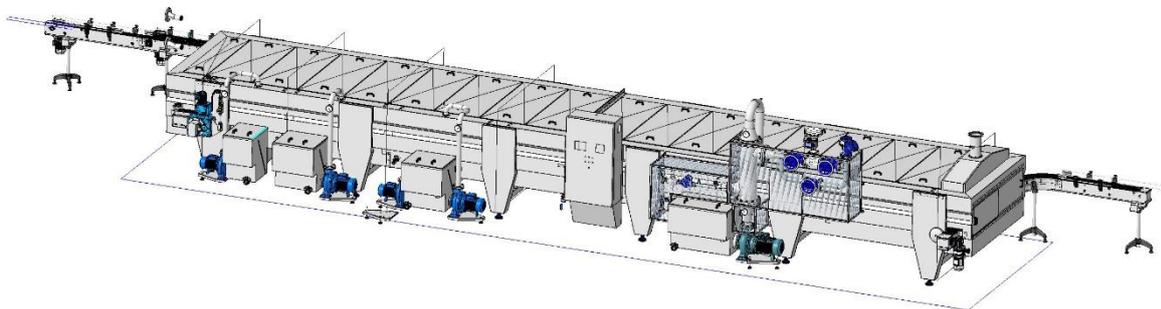
In aggiunta alla pastorizzazione, il ciclo termico porta anche alla creazione del vuoto all'interno dei barattoli, dato che fino a questo punto erano stati chiusi, ma non in modo ermetico.

Questa è sicuramente la macchina con dimensioni maggiori della linea, con 11,6 x 4,1 m, ed è stata parte della progettazione eseguita da Big Project per questa commessa.

Di seguito sono allegate delle immagini prese da Creo.



*Figura 15: Tunnel del trattamento termico a pioggia, lato anteriore con ingresso e uscita dei prodotti*



*Figura 16: Tunnel del trattamento termico a pioggia, lato posteriore con le pompe per alimentare le lance*

## 1.7\_ Controllo a raggi X e vacuum detector

Subito dopo il trattamento di pastorizzazione si incontrano gli ultimi due controlli sulla linea: il controllo a raggi X e il controllo sul vuoto.

Il controllo a raggi X serve per essere certi di avere uniformità di temperatura in tutto il barattolo, mentre il controllo sul vuoto serve a verificare che ci sia stata corretta creazione di sottovuoto nel barattolo, e quindi che risulti chiuso ermeticamente.

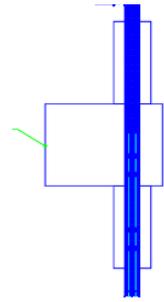


Figura 17: Macchina per controllo a raggi X in pianta

Analogamente al controllo del metal detector, anche in questo caso i barattoli da scartare sono invitati fuori dalla linea da un cilindro pneumatico posizionato a valle dei controlli.

## 1.8\_Soffiatura e uscita

Ultimo passaggio della linea è la soffiatura dei barattoli tramite un Soffiatore, così da asciugarli completamente per poter essere maneggiati dall'operatore.

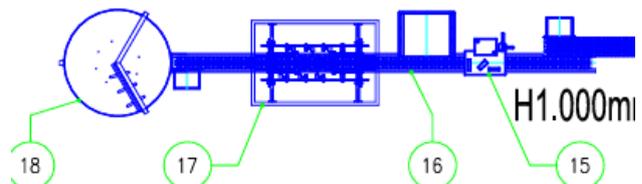


Figura 18: Vacuum detector (15), scarto (16), soffiatore (17) e piatto rotante (18) in pianta

Infatti, così come all'inizio, all'uscita della linea si trova un piatto rotante che raccoglie i barattoli in uscita dal nastro trasportatore e un operatore li scarica dal piatto rotante.

Da notare che i barattoli in questione non hanno l'etichetta, che nel caso del cliente viene apposta in un'altra zona dell'azienda.

## 1.9\_Deviazione per l'aggraffatrice

Nella pianta della linea di produzione è presente un ulteriore macchinario che non è stato ancora descritto: si tratta dell'aggraffatrice.

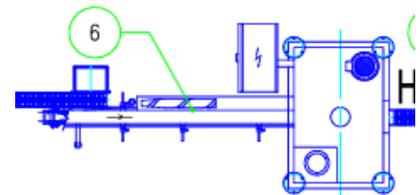


Figura 19: Aggraffatrice in pianta

Questa macchina è utilizzata nei casi in cui si vogliono creare degli insiemi di barattoli di diversi prodotti, come ad esempio nelle confezioni per pacchi regalo o nelle confezioni per degustazioni.

In questi casi i prodotti non passano per la capsulatrice, ma deviano e si dirigono verso l'aggraffatrice, che li raggruppa come richiesto rispetto alla casistica e li incapsula.

Essendo una macchina già presente, mancano informazioni riguardo alla produttività richiesta; dato anche l'utilizzo saltuario di questa macchina rispetto al resto della linea, non verrà presa in considerazione in questo studio.

## 1.10\_Nastri trasportatori

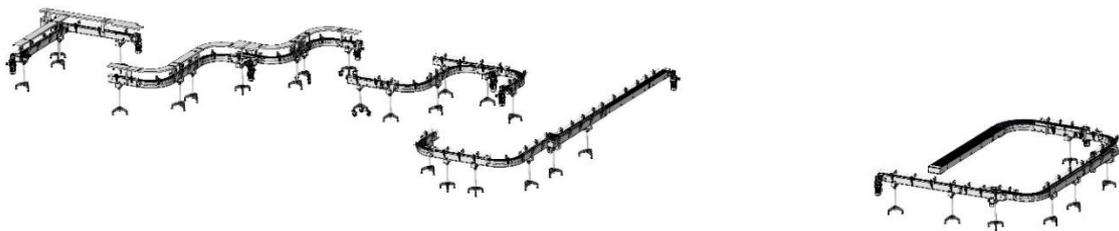


Figura 20: Nastri trasportatori dal software di modellazione 3D

Lungo tutto il percorso i prodotti sono movimentati da nastri trasportatori, che sono stati riprogettati dalla Big Project per collegare i macchinari nuovi a quelli già esistenti sulla linea del cliente.

I nastri hanno ovunque un'altezza di 1 m dal terreno e delle guide regolabili per adattarsi ai diversi formati di barattolo che il sistema può lavorare.

Dall'inizio della linea fino all'arrivo ai macchinari che incapsulano i barattoli, capsulatrice e aggraffatrice, il nastro trasportatore è dotato di una tettoia che serve perché fino a quel punto i barattoli non sono provvisti di coperchio e si vuole evitare che possa entrare qualcosa al loro interno.

Nella pianta della linea di produzione si possono notare due parti colorate in rosa e queste stanno ad indicare che in quei tratti il nastro può aprirsi per permettere agli operatori di effettuare la manutenzione sulle macchine presenti in quei punti, vale a dire aggraffatrice e capsulatrice.

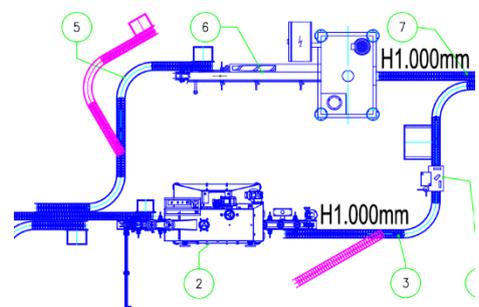


Figura 21: Particolare dei nastri trasportatori che possono aprirsi in caso di manutenzione

## 2\_MODELLAZIONE SU AUTOMOD

Per trasporre la linea “reale” su Automod bisogna realizzarne il modello, composto da: prodotti, sistema di movimentazione e singoli macchinari.

Di seguito verrà descritto il processo di modellazione della linea su Automod, per poi arrivare alla discussione delle simulazioni e dei loro risultati.

### 2.1\_Il Load

Il Load, ossia il prodotto, è l’entità più importante da creare all’inizio di un modello, perché senza di esso non è possibile avviare la simulazione.

Il load che è stato creato per questa simulazione è chiamato L\_Product ed è un parallelepipedo a base quadrata di lato 50 mm, per rapportarsi ai barattoli di diametro 53 mm che sono stati presi in considerazione; l’altezza è pari a 140mm, come quella del barattolo in questione.

I load si muovono nel modello seguendo il sistema di movimentazione e sono comandati dai process che simulano le varie macchine presenti sulla linea.

I load entrano nel sistema comandati da una generation specification, ossia una caratteristica che li genera fisicamente nel sistema.

In questo progetto sono state considerate tre generation specification diverse, così da avere tre diverse produttività della linea per le tre simulazioni:

\_ 2000 prodotti/ora, con una generation specification costante di un prodotto ogni 1,8 sec;

\_ 4000 prodotti/ora, con un prodotto generato ogni 0,9 sec;

\_ 6000 prodotti/ora, con un prodotto generato ogni 0,6 sec;

Il load poi ha delle variabili, denominate load attributes, che sono riferite al singolo load e possono avere valori diversi tra load diversi.

In questa simulazione i load hanno come attributes V\_Scarto\_1, V\_Scarto\_2, V\_Scarto\_3, V\_Sporco, V\_Tratt\_In e V\_Tratt\_tot.

I primi tre sono di tipo “string” e sono stati utilizzati per definire se un singolo load dovesse essere scartato o meno, saranno poi utilizzati nel metal detector e negli altri controlli sulla linea.

V\_Sporco è anch'esso di tipo "string" e serve per simulare la caratteristica dei barattoli di essere sporchi, per poi essere lavati nella lavatrice.

Gli ultimi due, Tratt\_In e Tratt\_tot, sono invece di tipo "real" e sono stati usati come strumento di controllo nel pastorizzatore, per poter verificare che i load impiegassero correttamente 60 minuti per attraversarlo; l'utilizzo di questi attributes verrà approfondito parlando della macchina in questione.

## **2.2\_Variabili e label**

Per meglio controllare i parametri di interesse durante le simulazioni, sono state utilizzate delle variables e delle labels.

A differenza dei load attributes, le variables hanno un solo valore per tutto il sistema e non si riferiscono al singolo load.

Le variables presenti nel progetto sono soprattutto dei contatori; si hanno infatti variabili di tipo integer che partono dal valore 0 e sono aumentate o diminuite all'interno dei process in conseguenza al passaggio dei load.

I nomi di queste variabili sono: V\_Buffer\_Out, V\_ProdottiIN, V\_ProdottiOUT, V\_ScartiMetalD, V\_Scarti\_RaggiX, V\_ScartiTOT, V\_ScartiVuoto e V\_Tratt\_Termico.

Altre tre variabili che sono state utilizzate sono V\_Produttività, V\_Tempo e V\_Tratt\_Tempo, tutte di tipo real; le prime due appaiono nel process finale per calcolare e verificare la produttività del sistema, mentre V\_Tratt\_Tempo serve per costruire uno dei grafici relativi alle simulazioni.

Per poter stampare a schermo queste variabili sono presenti delle Label posizionate attorno al modello, più precisamente 12, così da avere da una parte la label con solo la scritta e dall'altra la label con la variabile.

Le 6 label che stampano le variabili sono: L\_Input, L\_Out, L\_Output, L\_Prod, L\_Scarti, L\_TrattTermico; mentre le altre 6 label che contengono solamente del testo sono denominate: Input, Output, Produttività, Scarti, Trattamento, Uscita.

## **2.3\_Il sistema di movimentazione "conv"**

Per creare un sistema di movimentazione su Automod bisogna generare un system, che in questo caso è stato chiamato "conv".

Una volta creato, successivamente si disegnano i singoli nastri che lo compongono e per i quali sono stati ricavati i punti di inizio e fine dei vari tratti misurandoli direttamente dal progetto originale della linea; in seguito, sono stati inseriti i Control Point che verranno utilizzati nei codici relativi al funzionamento delle macchine.

A livello di altezza, i nastri son tutti 1 m da terra, come già accennato in precedenza; mentre per quanto riguarda la velocità del nastro è stato scelto un valore genericamente utilizzato per applicazioni dove sono presenti prodotti di vetro, ossia 0,4 m/sec.

Questo valore è comune a tutta la linea, tranne per alcune eccezioni che verranno chiarite in seguito.

L'immagine sottostante è come si presenta il sistema di movimentazione:

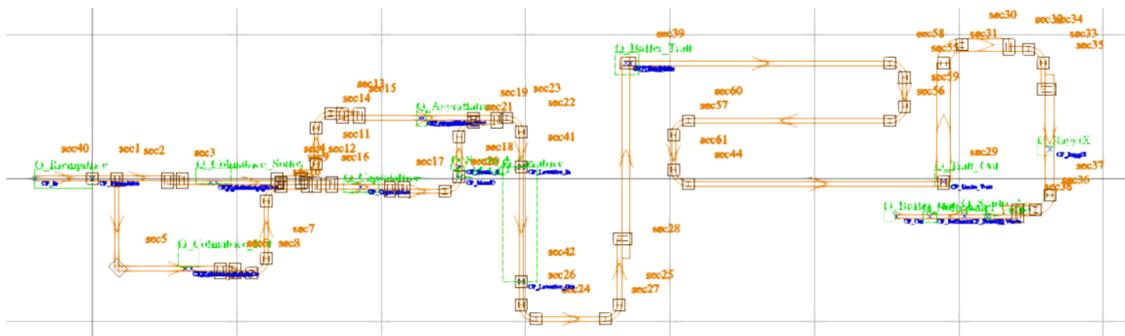


Figura 22: Sistema di movimentazione riprodotto su Automod

Dal momento che tutte le macchine della linea sono attraversate da un nastro, non si hanno interruzioni nel sistema di movimentazione in loro corrispondenza, ma sono presenti delle queue per renderle a livello grafico.

## 2.4\_Riempitrice

La modellazione delle singole macchine inizia con la prima macchina descritta, nonché la prima che si incontra nella linea: la riempitrice.

Per modellarla è stata utilizzata una queue, chiamata “Q\_Riempitrice”, facendo in modo di rispecchiarne le dimensioni reali, in modo tale da avere anche un riscontro grafico durante le simulazioni.

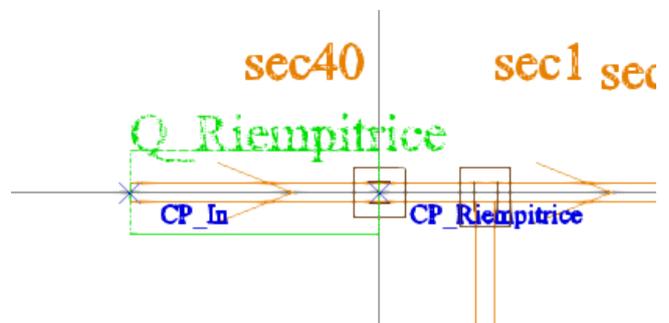


Figura 23: Riempitrice nella linea in Automod

Non sempre la queue è essenziale per la simulazione del passaggio che quella macchina compie sui prodotti, in questo caso, ad esempio, la parte fondamentale è la porzione di nastro trasportatore che

attraversa la macchina stessa, che nella figura (fig.23) è racchiusa tra i due Control point “CP\_In” e “CP\_Riempitrice”, mentre la queue ha un utilizzo come buffer, ha infatti capacità infinita.

Essendo che la riempitrice ha il compito di riempire i barattoli con gli alimenti, il nastro deve essere necessariamente più lento del resto della linea e perciò è stato infatti modellato in modo da avere una velocità pari a 0,1 m/sec.

Tutte le varie macchine che compongono il modello sono comandate da un process, ossia un codice che ne detta il funzionamento, chiamato “P\_nome macchina”.

Per ogni macchina descritta è riportato il process con tanto di commenti per poter meglio spiegare la modellazione.

Per questa macchina il Process in questione si chiama P\_Riempitrice.

```
//Inizio simulazione, i load vanno dall'inizio dove entrano in base alla produttività  
//passano per la riempitrice con una velocità di 0.1 m/s essendo che la macchina va piu lenta  
//del nastro trasportatore della linea generale che va a 0.4 m/s per favorire il riempimento  
  
begin  
  
move into Q_Riempitrice  
  
inc V_ProdottiIN by 1  
  
print V_ProdottiIN to L_Input  
  
move into conv.CP_In  
  
travel to conv.CP_Riempitrice  
  
//divido i due flussi tra le due colmatrici  
  
send to oneof (50:P_Colmatrice_Sottov,50:P_Colmatrice_Rot)  
  
end
```

La queue qui, come già accennato, è utilizzata come buffer perché, se si volesse far entrare i prodotti nel sistema direttamente posizionandoli sul primo control point CP\_In, per ogni prodotto bisognerebbe attendere il control point fosse libero.

Non è sempre possibile se si ha una generazione del load successivo più veloce di quanto non lo sia il nastro a far defluire il load precedente, creando così degli ingorghi che non permettono di avere alte produttività.

Utilizzando la queue come buffer si ha l'opzione di fare entrare tutti i prodotti correttamente nel sistema seguendo la generation specification e contarli tramite il contatore V\_Prodotti\_IN, per poi indirizzarli nel sistema appena il control point risulti libero.

La parte centrale del processo, come già accennato, è il passaggio dei prodotti sul nastro fino al control point successivo, per poi essere spediti, con la stessa probabilità, ad una delle due colmatrici presenti nella linea.

## 2.5\_Colmatrice

Entrambe le colmatrici sono state modellate allo stesso modo utilizzando una queue con capacità massima di 18 prodotti, così da simulare il comportamento della stella rotante, che, come si può notare anche nell'immagine proposta durante la descrizione iniziale della linea, ha 18 vani dove possono essere inseriti i barattoli.

Per quanto riguarda il tempo ciclo, conoscendo il funzionamento della macchina si sa che dura circa 3 secondi.

Per entrambe le macchine, avendo funzionamento e tempi ciclo comparabili, è stato utilizzato lo stesso script per il process, creandone due con diverso nome per poter comandare i vari flussi ad una o entrambe le macchine nelle diverse simulazioni.

Di seguito viene proposto lo script del process P\_Colmatrice\_Sottov:

*//cambio colore per simulare il riempimento con olio, il processo dura circa 3 secondi per barattolo*

*//dato che nella realtà i barattoli fanno il giro*

*begin*

*travel to conv.CP\_Colmatrice\_SIn*

*move into Q\_Colmatrice\_Sottov*

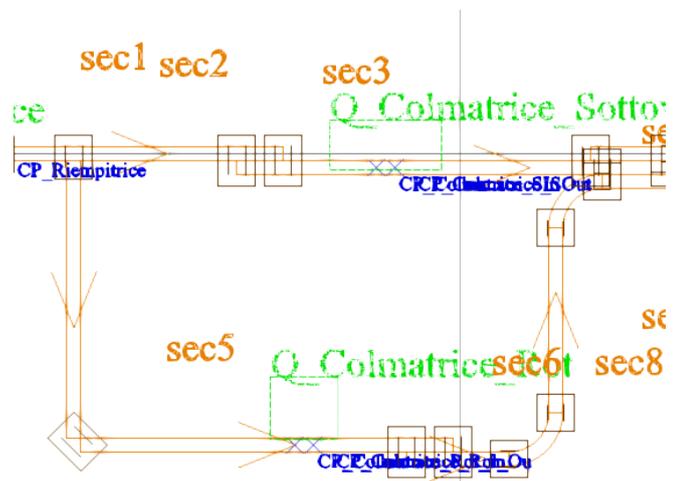


Figura 24: Colmatrici sottovuoto e rotativa in Automod

*wait for 3 seconds*

*//simulo lo sporco, faccio in modo che un 10% sia piu scuro per poi pulirlo nella Lavatrice*

*set V\_Sporco to oneof (0.90: "NO", 1-0.90: "SPORCO")*

*if V\_Sporco = "NO"*

*begin*

*set color to green*

*end*

*else if V\_Sporco = "SPORCO"*

*begin*

*set color to olive green*

*end*

*else*

*begin*

*print "ERRORE RANDOMIZZAZIONE SPORCO"*

*end*

*move into conv.CP\_Colmatrice\_SOut*

*travel to conv.CP\_Capsulatrice*

*send to P\_Capsulatrice*

*end*

Come si può notare sono stati posizionati due control point, uno in ingresso e uno in uscita.

Appena i prodotti arrivano nel control point di ingresso vengono mandati nella Queue che rappresenta la macchina, attendono 3 secondi simulando il ciclo di lavoro e poi vengono messi nuovamente sul nastro trasportatore attraverso il Control Point in uscita.

In aggiunta, nel codice è presente una randomizzazione dello sporco dei barattoli: alcuni vengono semplicemente colorati di verde, mentre altri hanno un colore verde scuro a simboleggiare che sono sporchi solo sulla superficie.

Questo accorgimento aiuta a simulare graficamente il comportamento successivo della lavatrice.

## 2.6\_Capsulatrice

Essendo questa la macchina con capacità produttiva maggiore della linea, pari a 14000 vasi/ora, il processo che la simula consiste nel far stare fermo sul control point CP\_Capsulatrice ogni prodotto per soli 0,3 secondi e poi inviarlo al successivo controllo tramite metal detector.

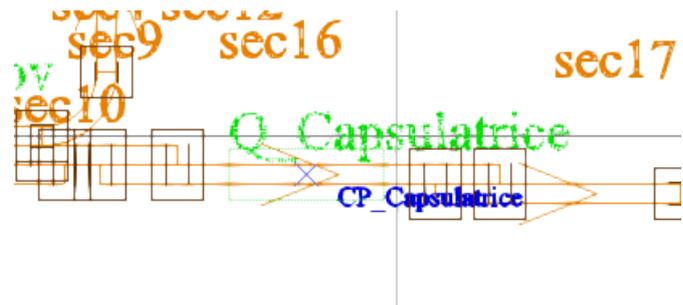


Figura 25: Capsulatrice in Automod

In questo caso la queue che rappresenta la macchina ha solo scopo grafico, i load non entrano mai al suo interno.

Di conseguenza, lo script del process P\_Capsulatrice è molto semplice:

```
/*Arrivano i barattoli che devono essere incapsulati,
```

```
essendo che la macchina ha una potenzialità di 14000 vasi/ora, ogni vaso deve stare solamente 0.3 secondi fermo per essere incapsulato
```

```
*/
```

```
begin
```

```
wait for 0.3 sec
```

```
travel to conv.CP_MetalD
```

```
send to P_MetalD
```

```
end
```

## 2.7\_Metal detector

Il modello del metal detector è formato da due queue e due control point.

La queue che rappresenta il metal detector in sé serve solo come riferimento grafico, mentre la queue Q\_Scarto\_1 viene utilizzata come zona di scarto dove accogliere i prodotti da far uscire dal sistema ed è modellata con capacità infinita.

I due control point invece, stanno ad indicare i due passaggi fondamentali: nel primo control point arrivano tutti i prodotti e avviene il controllo, mentre nel successivo riferito allo scarto si fermano solo i prodotti da scartare, mentre quelli ritenuti idonei sono mandati direttamente al control point della macchina successiva, ossia la lavatrice.

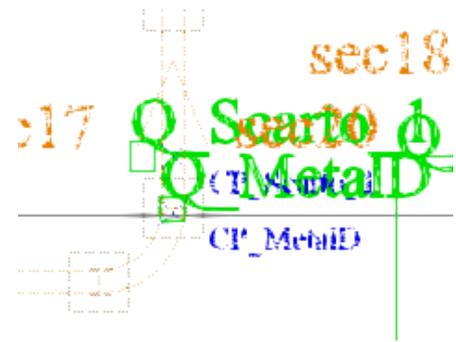


Figura 26: Controllo del metal detector in Automod

All'interno del processo vi è un comando che randomicamente assegna al load attribute V\_Scarto\_1 un valore "SCARTO", l'1% delle volte, oppure un valore "OK", nel restante 99%.

Saranno i load con valore "SCARTO" quelli che poi si fermeranno al Control Point CP\_Scarto1, così da essere mandati alla queue Q\_Scarto\_1, dove, dopo aver atteso 10 secondi, vengono fatti uscire dal sistema, mentre i load con valore "OK" sono inviati alla macchina successiva.

Appena i prodotti scartati entrano nella queue, viene aumentato il contatore degli scarti del metal detector, usato soprattutto come controllo nelle prime simulazioni per verificare che questo tratto funzionasse correttamente; oltre a quello, viene aumentato anche il contatore degli scarti totale della linea, che viene poi stampato a schermo.

Dentro al process è presente un controllo sulla corretta funzionalità del randomizzatore del valore di V\_Scarto\_1, così da segnalare in caso vengano assegnati valori diversi da "SCARTO" e "OK".

Questo process è la base per il controllo a raggi X e per il controllo della corretta formazione del vuoto che si trovano alla fine della linea e che verranno presentati in seguito.

Viene riportato il process P\_MetalD:

*/\*Per avere uno scarto del 0,1% posso usare una variabile che viene settata con una percentuale su uno di due valori*

*e scarto il valore waste*

*sintassi:*

*set V\_control to oneof(0.54: "OK", 1-0.54: "REP")*

*\*/*

*begin*

*set V\_Scarto\_1 to oneof(0.01: "SCARTO", 1-0.01: "OK")*

*travel to conv.CP\_Scarto\_1*

*if V\_Scarto\_1 = "SCARTO"*

*begin*

*move into Q\_Scarto\_1*

*//conto quanti scarti ho nel Metal Detector*

*inc V\_ScartiMetalD by 1*

*inc V\_ScartiTOT by 1*

*//print V\_ScartiMetalD " Barattoli scartati dal Metal Detector" to message*

*wait for 10 sec*

*send to die*

*end*

*else if V\_Scarto\_1 = "OK"*

*begin*

*travel to conv.CP\_Lavatrice\_In*

*send to P\_Lavatrice*

*end*

*else begin*

*print "ERRORE NEL METAL DETECTOR" to message*

*send to die*

*end*

*end*

## 2.8\_Lavatrice

Per quanto riguarda il passaggio dei barattoli nella lavatrice, qui viene simulata la pulizia di quelli che all'uscita della colmatrice hanno avuto la variabile V\_Sporco impostata al valore "SPORCO" e appaiono, quindi, di colore verde scuro.

In questo modello la queue ha solo valore di riferimento grafico, perchè il processo avviene nel nastro trasportatore compreso tra i control point CP\_Lavatrice\_In e CP\_Lavatrice\_Out, che ha una velocità pari a 0,25 m/sec dato che in questo passaggio i prodotti si muovono più lentamente per favorire la pulizia esterna.

Nella parte finale del process relativo a questo passaggio, P\_Lavatrice, è presente il contatore dei barattoli in entrata al trattamento termico, nonché il comando che divide questi prodotti, mandandone una parte al nastro che funge da modello del pastorizzatore, e una parte al bypass.

Questa distinzione verrà spiegata nel paragrafo successivo dove è descritta la modellazione del tunnel del trattamento termico.

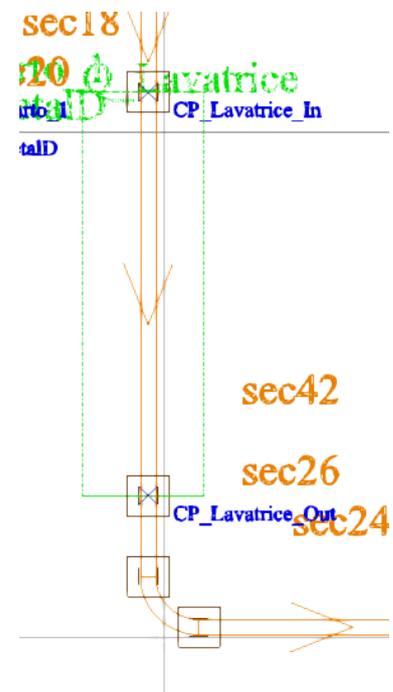


Figura 27: Lavatrice in Automod

Il process che comanda questo passaggio è P\_Lavatrice:

*//Qua voglio semplicemente pulire l'esterno del barattolo, alcuni sono Olive Green quindi li riporto tutti a Verde*

*begin*

*travel to conv.CP\_Lavatrice\_Out*

*if V\_Sporco = "SPORCO"*

*begin*

*set color to green*

*end*

*travel to conv.CP\_Tratt\_Buffer*

*move into Q\_Buffer\_Tratt*

*inc V\_TrattTermico by 1*

*print V\_TrattTermico to L\_TrattTermico*

*set V\_Tratt\_In to ac*

*send to oneof (0.1: P\_Tratt\_Termico, 1-0.1: P\_Tratt\_Bypass)*

*end*

In questo process si inizializza il load attribute V\_Tratt\_In dandogli come valore “ac”, ossia il valore del tempo di simulazione in quell’istante, quest’ultimo verrà usato in uno dei process successivi per calcolare il tempo di permanenza del load nel trattamento termico.

## 2.9 Tunnel del trattamento termico

Come già accennato parlando della lavatrice, la modellazione del tunnel del trattamento termico è composta da due parti: un nastro trasportatore e un bypass.

La parte del nastro è modellata direttamente nel sistema di

movimentazione e serve soprattutto per avere un riferimento grafico di come si comporta la macchina.

Nella realtà non si tratta altro che di un largo nastro trasportatore di 30 m<sup>2</sup> di superficie, la cui realizzazione in Automod sarebbe stata estremamente e inutilmente complicata.

È stato realizzato, allora, un nastro che collegasse il punto di entrata e il punto di uscita dei prodotti, ottenendo un nastro lungo poco più di 30 metri.

Conoscendo il ciclo di lavoro della macchina di 60 minuti, è stata calcolata la velocità da impostare per il nastro, ossia 0.0084 m/sec.

Il passaggio successivo è quello di rispecchiare la portata del tunnel stesso.

Essendo la superficie utile del nastro di 30 m<sup>2</sup>, è possibile stimare il numero di barattoli da diametro 53 mm che possono contemporaneamente essere sottoposti al trattamento: si tratta di circa 10500 barattoli.

Questo quantitativo di prodotti però non può essere completamente contenuto nel tratto di nastro che modella il tunnel ed è quindi necessario l'inserimento di un buffer, ossia la queue Q\_Buffer\_Tratt all'entrata della macchina, così da evitare il formarsi di una coda durante la simulazione, dovuta ai prodotti in attesa di entrare nel nastro.

Questo sarebbe stato un errore dovuto solo all'adattamento del modello e non riconducibile al progetto originale della linea stessa.

Calcolando che nel tratto di nastro trasportatore disegnato per modellare il tunnel ci possono stare circa 550 barattoli, si avrà una capacità massima della queue di 9950 prodotti.



Figura 28: modello del tunnel di trattamento termico in Automod

La presenza di un unico nastro significa avere una sola corsia utile per far procedere i prodotti alle parti successive della linea; questo diventa limitante dato l'alto volume di prodotti che entra nel tunnel di trattamento termico e porta presto alla creazione di code a monte del nastro, che in poco tempo blocca tutta la linea.

Ecco spiegato il motivo dell'esistenza del bypass, che è un problema derivante dalla trasposizione su Automod, dato che nella realtà il tunnel ha una capacità molto maggiore di quella che ha nel modello.

Aggiungendo quindi una queue denominata Q\_Tratt\_Out con capacità infinita, posizionata nel punto finale del nastro e facendo in modo che i prodotti arrivino attraverso un process che li reindirizza, è possibile riuscire a lavorare contemporaneamente più prodotti, senza limiti derivanti dalla modellazione del nastro.

Vi è quindi il bisogno di due process distinti: P\_Tratt\_Termico, riferito al nastro, e P\_Tratt\_Bypass, riferito al bypass.

La scelta di quanti prodotti mandare ad ognuno dei due process è dettata dall'ultima riga di P\_Lavatrice, dove il 10% dei prodotti viene mandato al nastro, mentre il restante 90% viene mandato al bypass; queste percentuali derivano da stime fatte in seguito a delle simulazioni di prova, ma in generale conviene che la maggior parte dei prodotti bypassi il nastro, data la sua scarsa capienza rispetto al nastro reale.

Di seguito viene riportato il process P\_Tratt\_Bypass:

```
// Questo processo serve per bypassare alcuni prodotti, simulandone solamente il tempo di ciclo di 60 min
```

```
begin
```

```
//simulo mettendo solo il tempo di attesa dentro al buffer pari al tempo ciclo
```

```
wait for 60 min
```

```
move into Q_Tratt_Out
```

```
//mando al processo successivo
```

```
send to P_RaggiX_Vuoto
```

```
end
```

Infine, è riportato il process P\_Tratt\_Termico:

*//Il trattamento termico viene svolto attraverso un tunnel calibrato per fare in modo che il processo duri 60 minuti per ogni Load*

*begin*

*//per simulare il fatto che dentro alla macchina possono entrare piu load insieme, metto un buffer con la capienza massima, meno quanti load posso avere sul nastro che la simula*

*//il nastro che la simula è 30 metri, ogni barattolo solo 54 mm di diametro, quindi circa 550*

*//la capienza del buffer la imposto a 9950, dato che avevo calcolato una capienza max di 10500 barattoli (53 in fila per 188 file)*

*move into conv.CP\_Tratt\_In*

*travel to conv.CP\_Uscita\_Tratt*

*//tempo di arrivo*

*set V\_Tratt\_tot to ac - V\_Tratt\_In*

*set V\_Tratt\_Tempo to V\_Tratt\_tot/60*

*//print "Trattamento termico eseguito in " V\_Tratt\_tot/60 as 1. to message*

*//aggiorno il conteggio della label*

*send to P\_RaggiX\_Vuoto*

*end*

In questo process si può notare l'utilizzo di due dei load attributes presentati precedentemente:

V\_Tratt\_In e V\_Tratt\_tot.

V\_Tratt\_In era già stato inizializzato nel process P\_Lavatrice ponendolo pari al valore del tempo in ingresso del load; V\_Tratt\_tot viene invece calcolato sottraendo da "ac" il valore di V\_Tratt\_In, così da avere il tempo totale impiegato dal load per attraversare il nastro.

Questo passaggio è utile per avere dei controlli sul corretto dimensionamento della velocità del nastro e rispettare così il tempo ciclo di 60 minuti per ogni load.

## 2.10 Controllo a raggi X e controllo sul vuoto

La modellazione dei due controlli a raggi X e del vuoto è identica a quella utilizzata per il metal detector.

L'unica differenza sostanziale è che, trattandosi di due controlli in serie, serve un solo buffer di scarto posizionato dopo il secondo controllo.

Le due queue che rappresentano i controlli sono, similmente al metal detector, solo per una questione di riferimento visivo, al contrario la queue che fa da zona di scarto ha capacità infinita ed accoglie i prodotti difettosi destinati ad uscire dalla linea.

Il process che comanda questo passaggio è uno solo ed è la fusione di due process simili a P\_MetalD, denominato P\_RaggiX\_Vuoto:

*//Controllo sui RaggiX e sul Vuoto in uscita dal trattamento termico*

*begin*

*dec V\_TrattTermico by 1*

*print V\_TrattTermico to L\_TrattTermico*

*move into conv.CP\_Uscita\_Tratt*

*travel to conv.CP\_RaggiX*

*set V\_Scarto\_2 to oneof (0.01: "SCARTO", 1-0.01: "OK")*

*travel to conv.CP\_Vuoto*

*set V\_Scarto\_3 to oneof (0.01: "SCARTO", 1-0.01: "OK")*

*travel to conv.CP\_Scarto\_2*

*if V\_Scarto\_2 = "SCARTO"*

*begin*

*move into Q\_Scarto\_2*

*//conto quanti scarti ho nel controllo a Raggi X*

*inc V\_ScartiRaggiX by 1*

*inc V\_ScartiTOT by 1*

```

//print V_ScartiRaggiX " Barattoli scartati dal controllo a raggi X" to message

wait for 10 sec

send to die

end

else if V_Scarto_3 = "SCARTO"

begin

    move into Q_Scarto_2

    //conto quanti scarti ho nel controllo sul Vuoto

    inc V_ScartiVuoto by 1

    inc V_ScartiTOT by 1

    //print V_ScartiVuoto " Barattoli scartati dal controllo sul vuoto" to message

    wait for 10 sec

    send to die

end

else if V_Scarto_2 = "OK" and V_Scarto_3 = "OK"

    begin

        travel to conv.CP_Soffiatura

        send to P_Soffiatura

    end

else begin

    print "ERRORE NEL CONTROLLO SU RAGGI X E VUOTO" to message

    send to die

end

end

```

In questo process è presente il contatore in uscita dei prodotti dal trattamento termico.

## 2.11\_Soffiatura e uscita dal sistema

Anche per quanto riguarda la macchina che esegue la soffiatura, la queue che la rappresenta serve solamente come riferimento grafico.

La parte importante della sua modellazione è il control point CP\_Soffiatura, sul quale i load si fermano per 0,2 secondi per simulare il ciclo di lavoro, che comunque è molto rapido.

Il process che comanda questa parte è P\_Soffiatura:

```
//processo di Soffiatura per asciugare i barattoli  
prima dell'uscita
```

```
begin
```

```
wait for 0.2 sec
```

```
travel to conv.CP_Out
```

```
send to P_Out
```

```
end
```

Il modello della linea si conclude con un control point finale chiamato CP\_Out e una queue chiamata Q\_Buffer\_out con capacità infinita.

Questa queue rappresenta il piatto rotante da cui l'operatore che si occupa dello scarico preleva i barattoli; infatti, l'uscita del sistema è simulata con una distribuzione normale per essere simile ad un comportamento di un essere umano, che non impiegherà sempre lo stesso tempo per scaricare.

A schermo viene stampato il numero in tempo reale dei prodotti presenti nella queue.

Nell'ultimo process P\_Out sono presenti, e vengono anch'essi stampati a schermo, i contatori di prodotti in uscita, scarti totali e produttività.

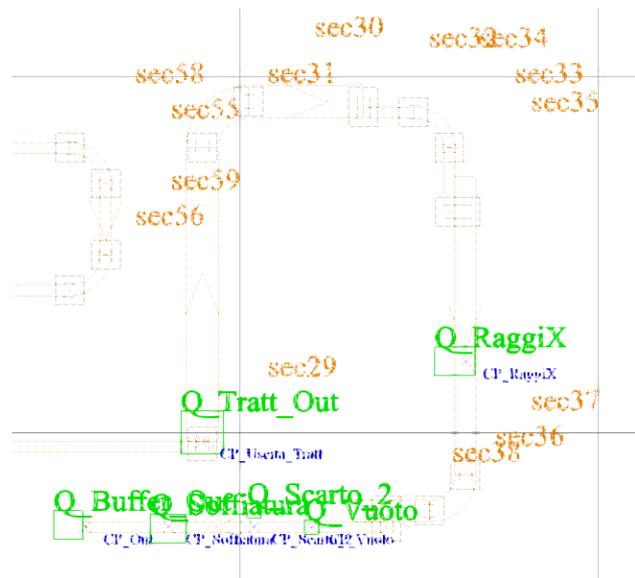


Figura 29: Parte finale della linea in Automod, con controllo a raggi X, controllo sul vuoto, soffiatura e uscita dei prodotti

Script del process P\_Out:

*//ultimo processo per calcolare e scrivere nelle label*

*begin*

*inc V\_ProdottiOUT by 1*

*print V\_ProdottiOUT to L\_Output*

*print V\_ScartiTOT to L\_Scarti*

*set V\_Tempo = ac/3600*

*set V\_Produttivita = V\_ProdottiIN / V\_Tempo*

*print V\_Produttivita as 1. to L\_Prod*

*move into Q\_Buffer\_Out*

*inc V\_Buffer\_Out by 1*

*print V\_Buffer\_Out to L\_Out*

*//essendo che è un operatore a scaricare simulo che ci metta una distribuzione normale per scaricarli*

*wait for normal 1.2, 0.2 sec*

*dec V\_Buffer\_Out by 1*

*print V\_Buffer\_Out to L\_Out*

*send to die*

*end*

### 3\_SIMULAZIONI

In questa ultima parte verranno presentate e discusse quattro simulazioni effettuate in Automod della linea fin qui descritta.

Le simulazioni differiscono tra di loro per quanto riguarda la produttività, che si traduce in tre diverse generation specification dei load all'interno del sistema, come già presentato in precedenza.

La prima simulazione avrà una produttività di 2000 prod/ora, la seconda 4000 prod/ora, mentre la terza e la quarta avranno entrambe una produttività di 6000 prod/ora.

Verrà simulata la linea rispetto ad una giornata lavorativa di 8 ore, senza prodotti già al suo interno alla partenza.

Le varie simulazioni verranno confrontate rispetto a:

\_ Aspetto generale della linea, ossia se sono presenti ingorghi o colli di bottiglia, quanti prodotti sono entrati e usciti, ecc...;

\_ Quante colmatrici utilizzare in parallelo;

\_ Dimensionamento del tunnel di trattamento termico, controllando quanti prodotti sono al suo interno contemporaneamente e se questo valore eccede la capienza, oltre che analizzare il modello del tunnel stesso;

\_ Buffer di uscita della linea, per discutere se è indicato mantenere lo scarico dei prodotti eseguito manualmente da un solo operatore.

### 3.1 Simulazione a 2000 prod/ora

La prima simulazione che è stata effettuata è quella con la produttività minima richiesta, pari quindi a 2000 prodotti/ora; in questo caso la generation specification genera un load ogni 1,8 secondi.

#### 3.1.1 Linea generale

Una volta conclusa la simulazione, la linea si presenta in questo modo:

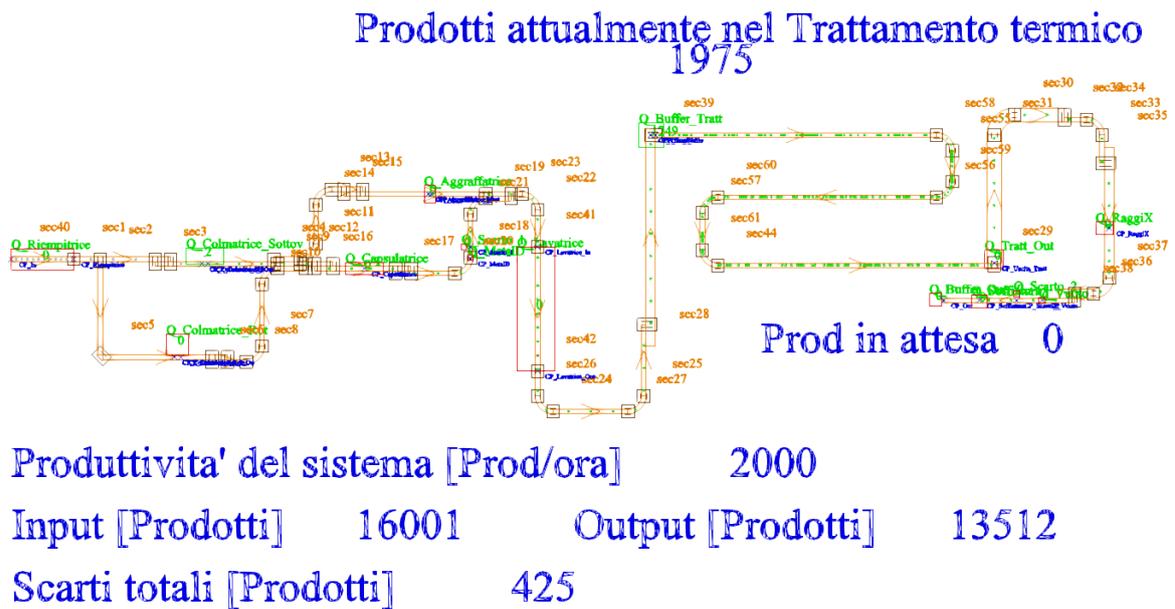


Figura 30: Linea a produttività 2000 pz/ora dopo la simulazione

Si può notare l'assenza di ingorghi, segno che le macchine sono ben in grado di lavorare con questa mole di prodotti.

I prodotti totali entrati nella linea sono 16000, mentre quelli usciti durante le 8 ore sono circa 13500 e gli scarti sono 425.

Questo significa che i prodotti in lavorazione alla fine della simulazione sono circa 2100, di cui 1975 solo nel trattamento termico.

Questo dato è plausibile in quanto il trattamento termico è il passaggio più lento di tutta la produzione.

### 3.1.2\_Utilizzo colmatrici

Per quanto riguarda l'utilizzo delle colmatrici, per la simulazione si è scelto di mantenere il flusso di prodotti solo attraverso la colmatrice sottovuoto, per poi discutere il bisogno di impiegarle entrambe.

Per questo scopo è stato creato il grafico seguente, che monitora il numero di pezzi contemporaneamente in lavorazione in entrambe le macchine, così da poter fare le valutazioni del caso.

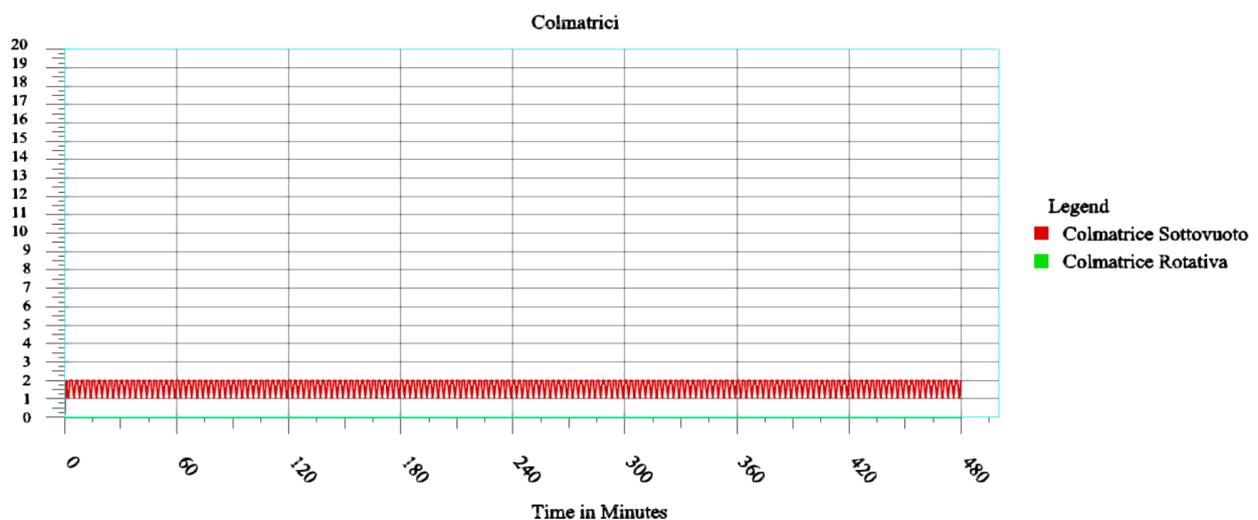


Figura 31: Prodotti contemporaneamente lavorati dalle colmatrici durante la simulazione a 2000 prod/ora

Nelle ordinate si ha il numero di prodotti contemporaneamente presenti all'interno delle macchine, con un massimo di 20 prodotti, dato che le colmatrici hanno una capacità massima di 18, mentre nelle ascisse si ha il tempo di simulazione espresso in minuti.

Si può immediatamente notare come la colmatrice sottovuoto lavori un massimo di 2 barattoli contemporaneamente durante tutta la durata della simulazione.

Per quanto riguarda la produttività minima di 2000 pezzi l'ora, si può affermare che non è necessario che entrambe le colmatrici lavorino in parallelo, basta semplicemente che ne lavori una mentre l'altra sia pronta in caso di emergenza, come ad esempio per un guasto.

### 3.1.3\_Trattamento termico

Durante la simulazione si sono registrati i seguenti valori per quanto riguarda l'utilizzo del tunnel di trattamento termico:

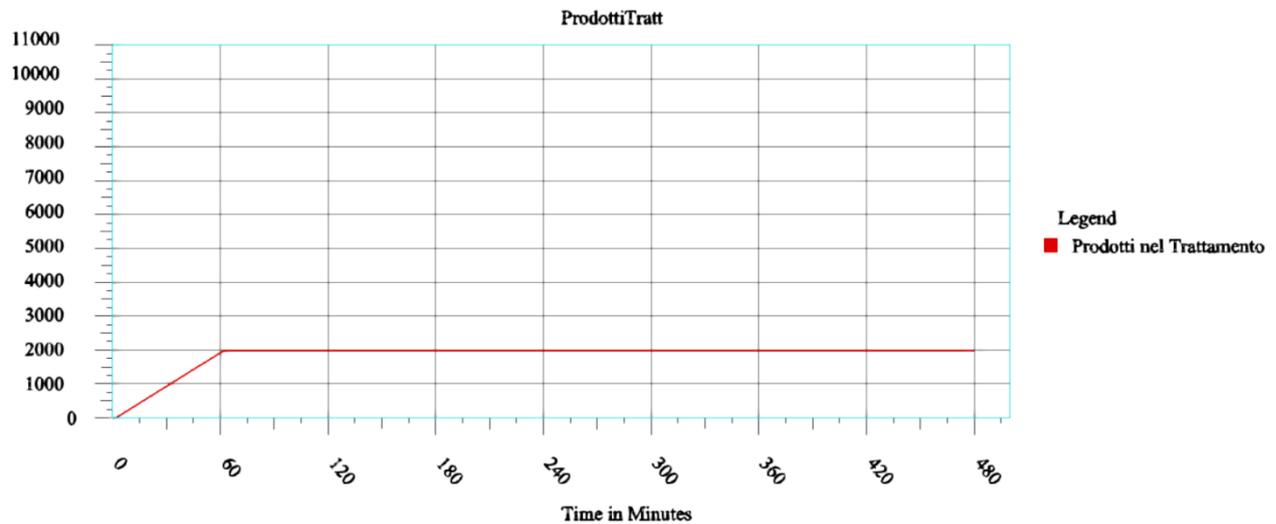


Figura 32: Prodotti all'interno del trattamento termico durante la simulazione a 2000 prod/ora

Si può notare come, durante tutte le otto ore della simulazione, non siano mai presenti più di 2000 prodotti all'interno del pastorizzatore.

Questo valore è ben al di sotto della capienza massima di 10500, quindi anche il tunnel di trattamento termico non ha problemi in caso di produttività pari a 2000 prodotti/ora.

Oltre al numero di prodotti al suo interno, per quanto riguarda questa macchina si è deciso di monitorare anche il tempo di permanenza dei prodotti al suo interno, così da verificare la validità della modellazione adottata; ne segue questo grafico:

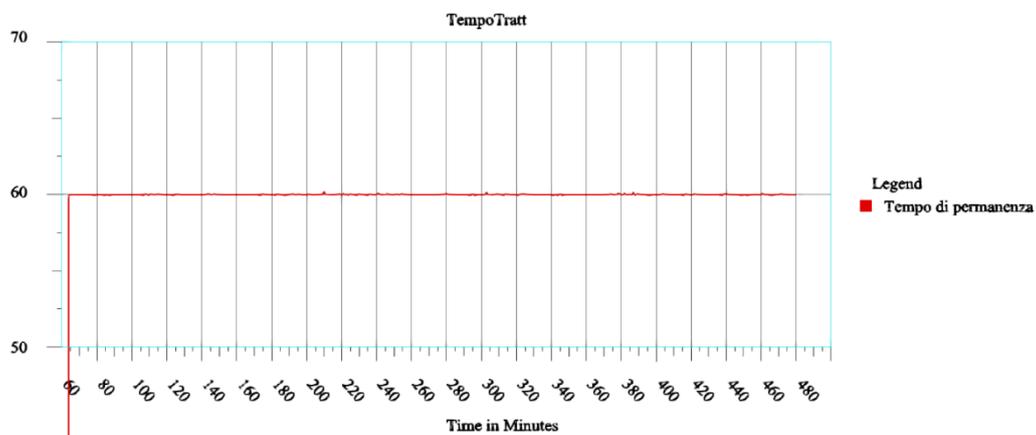


Figura 33: Tempo di permanenza dei prodotti nel pastorizzatore durante la simulazione a 2000 prod/ora

Il tempo di permanenza dei prodotti all'interno del tunnel è correttamente di 60 minuti, tranne per qualche singolo caso isolato, dove però non si va oltre a pochi minuti in più.

Questo è dovuto ad un possibile congestionamento momentaneo del tratto di nastro trasportatore che simula il trattamento, ma comunque questi dati confermano che il modello rispecchia la macchina reale.

### 3.1.4 Buffer in uscita

L'ultimo aspetto che è stato monitorato durante la simulazione riguarda il numero di prodotti all'interno del buffer di uscita dal sistema.

Questo buffer accoglie tutti i prodotti in uscita dalla linea e simula uno scarico manuale facendo attendere i prodotti, per poi farli uscire dal sistema.

Il grafico che si ottiene è il seguente:

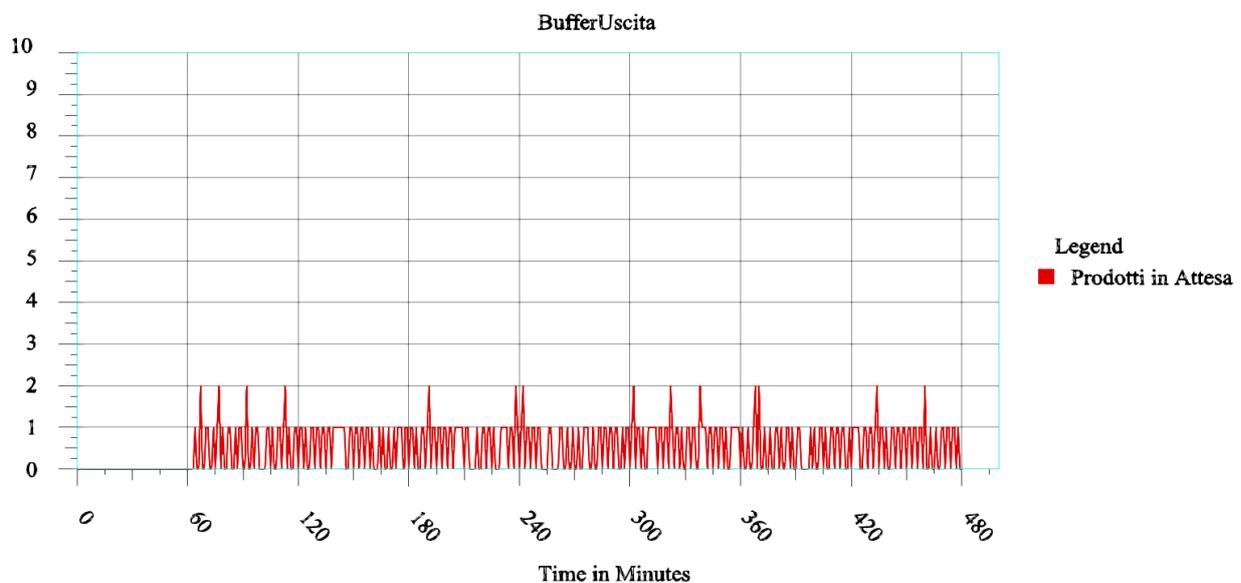


Figura 34: Prodotti presenti nel buffer in uscita durante la simulazione a 2000 prod/ora

Dal grafico si legge come non si abbiano mai più di 2 prodotti in attesa nel buffer di uscita; questo conferma la possibilità di impiegare anche un solo operatore per lo scarico dei prodotti.

Anche per quanto riguarda l'ingresso dei prodotti nel sistema, si ritiene plausibile che il processo venga svolto manualmente da un solo operatore, che in questo caso dovrebbe caricare un prodotto ogni 1,8 secondi.

### 3.2\_Simulazione a 4000 prod/ora

La seconda simulazione effettuata è caratterizzata da una produttività di 4000 pezzi/ora, valore che corrisponde alla produttività richiesta dalla linea in sede di progettazione.

La generation specification fa entrare nel sistema un load ogni 0,9 secondi.

#### 3.2.1\_Linea generale

Così è come si presenta l'impianto dopo la simulazione di 8 ore:

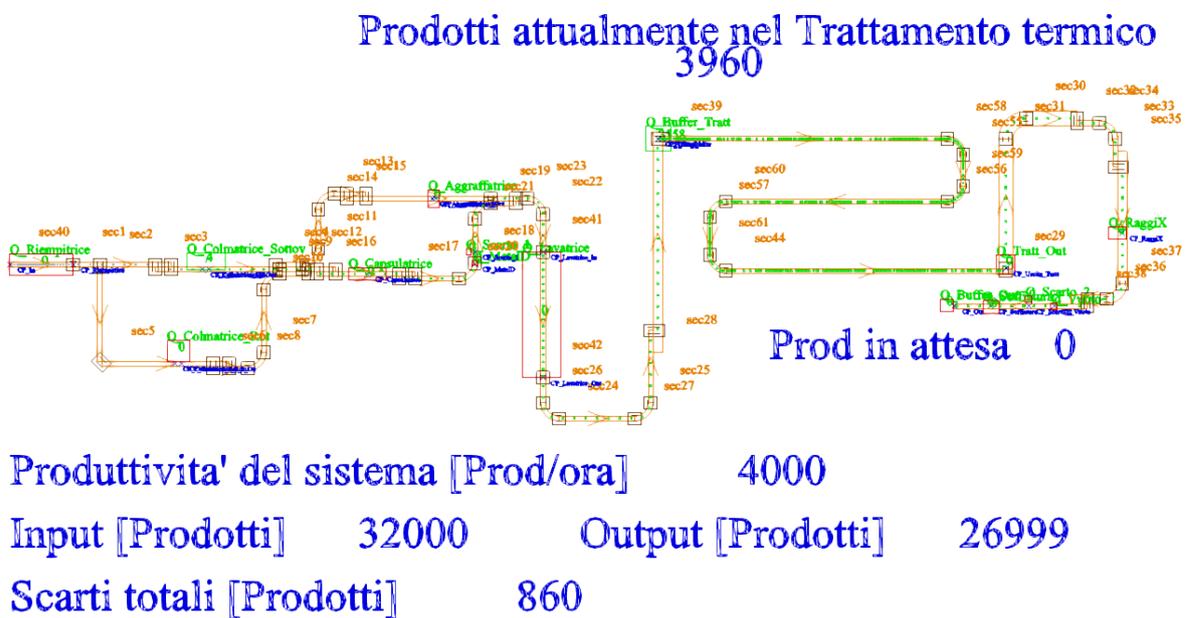


Figura 35: Linea a produttività 4000 prod/ora dopo la simulazione

Non sono presenti ingorghi, segno che la linea è stata ben progettata per rispettare la produttività richiesta inizialmente.

A fronte di 32000 prodotti in ingresso, se ne hanno 27000 in uscita e 860 scarti.

Questo significa che all'interno della linea sono ancora presenti poco più di 4100 prodotti, di cui 3960 all'interno del pasteurizzatore.

Questi numeri sono in linea con la simulazione precedente, essendo la maggior parte dei prodotti all'interno del tunnel di trattamento termico, mentre nel resto della linea ne son rimasti in lavorazione circa 200.

### 3.2.2\_Utilizzo colmatrici

Anche per quanto riguarda questa seconda simulazione, si è mantenuto il flusso dei prodotti soltanto attraverso una delle due colmatrici.

Il grafico ottenuto è il seguente:

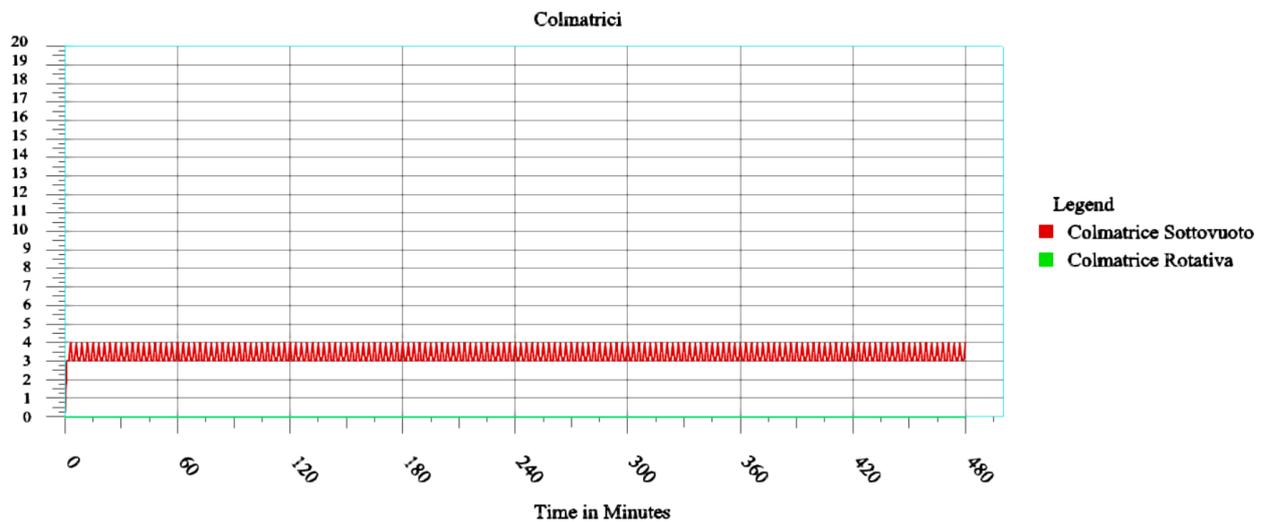


Figura 36: Prodotti contemporaneamente lavorati dalle colmatrici durante la simulazione a 4000 prod/ora

Si può notare che si ha massimo 4 prodotti contemporaneamente all'interno dell'unica colmatrice che lavora.

Anche in questo caso si può affermare che, per una produttività richiesta di 4000 pezzi all'ora, si può far lavorare solamente una delle due macchine, così da avere l'altra pronta in caso di bisogno.

### 3.2.3\_Trattamento termico

L'andamento dei prodotti contemporaneamente presenti all'interno del pastorizzatore è il seguente:

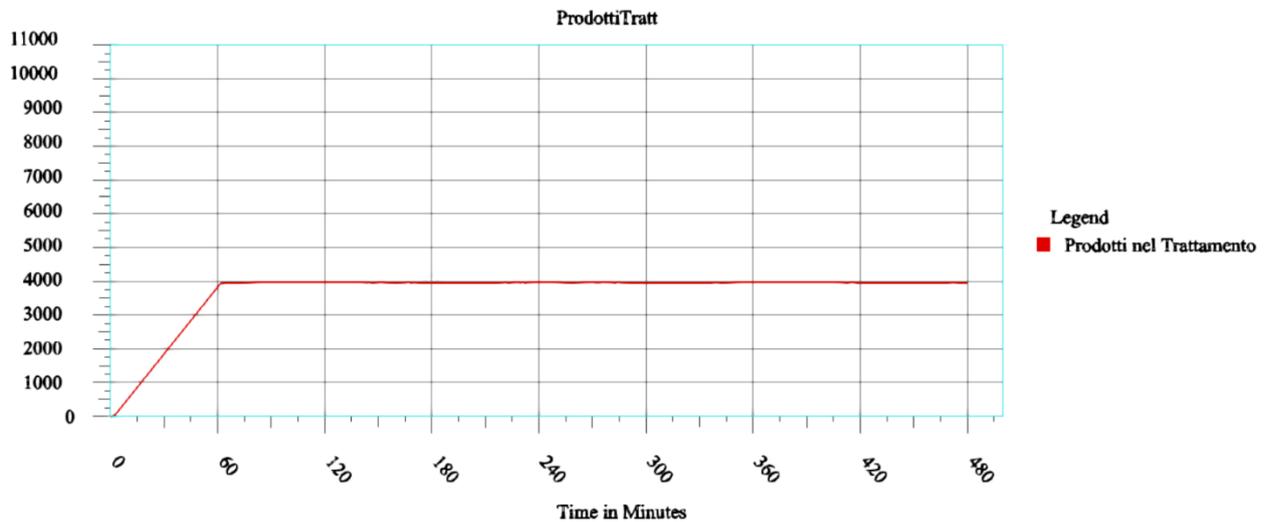


Figura 37: Prodotti all'interno del trattamento termico durante la simulazione a 4000 prod/ora

Si può notare come il massimo numero di prodotti contemporaneamente all'interno della macchina sia di 4000, anche in questo caso un numero molto minore della capienza massima.

Il dimensionamento del pastorizzatore risulta essere adatto alla produttività richiesta.

Per verificare la modellazione della macchina si considera, come nella simulazione precedente, il tempo di permanenza dei prodotti al suo interno:

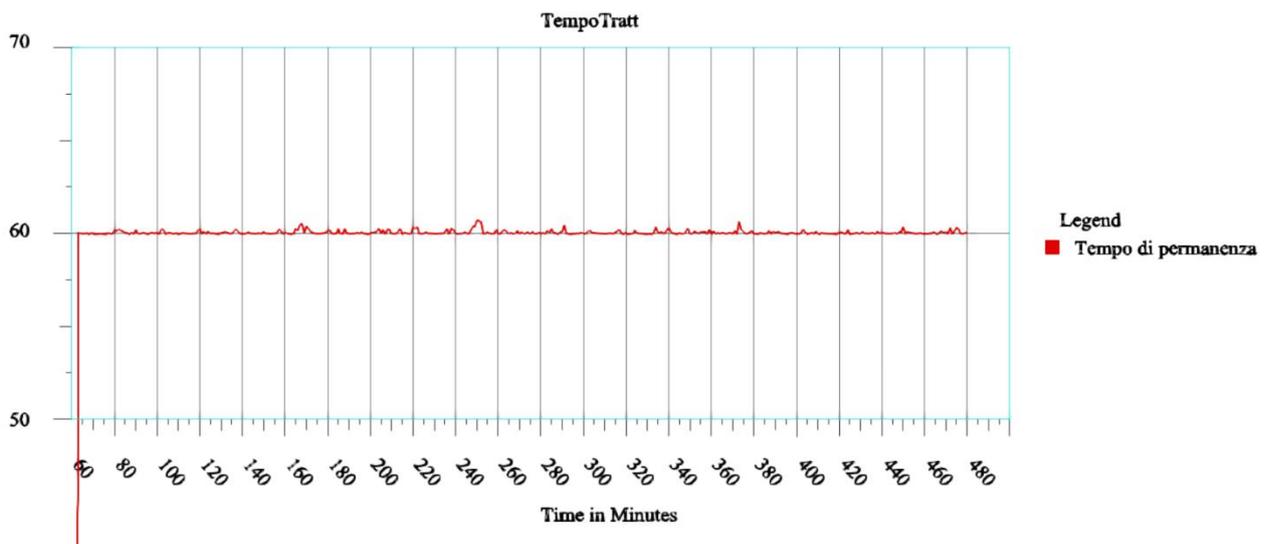


Figura 38: Tempo di permanenza dei prodotti nel pastorizzatore durante la simulazione a 4000 prod/ora

I prodotti impiegano tutti una media di 60 minuti, con qualche piccola eccezione, per questo passaggio.

Come accade, infatti, anche nella simulazione precedente, alcuni prodotti impiegano un tempo di poco maggiore ai 60 minuti per attraversare questa macchina.

Per quanto in questa simulazione accada più spesso rispetto alla precedente, si tratta comunque di casi in cui si arriva ad un massimo di 61 minuti circa; si può, allora, affermare che il modello si avvicina molto al comportamento reale della macchina.

### 3.2.4 Buffer in uscita

Per quanto riguarda i prodotti contemporaneamente in attesa nel buffer di uscita, si è ricavato questo grafico:

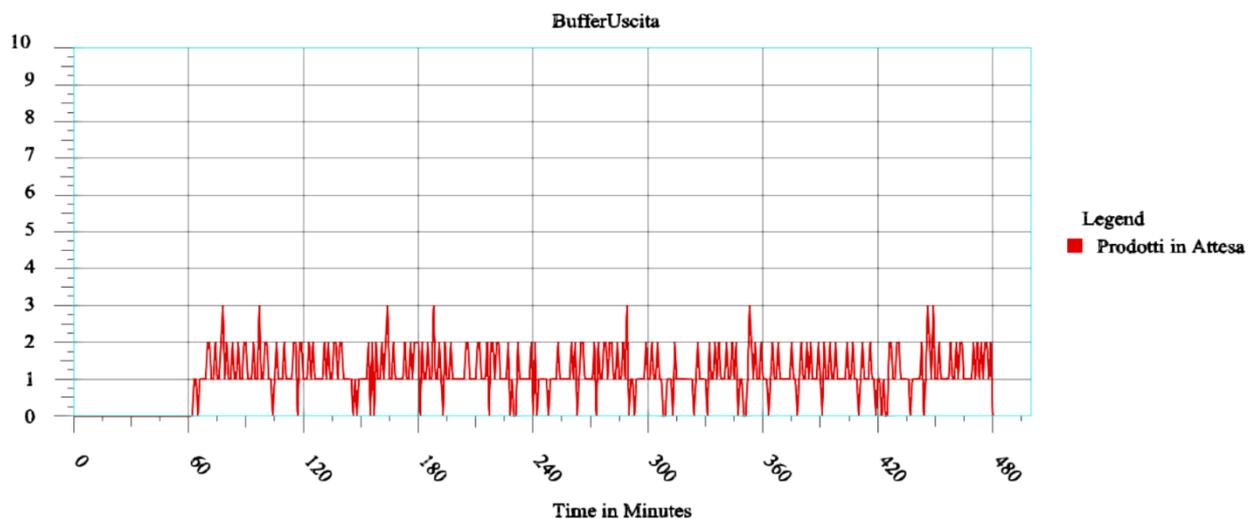


Figura 39: Prodotti presenti nel buffer in uscita durante la simulazione a 4000 prod/ora

Durante questa simulazione si ha un massimo di 3 prodotti in attesa nel buffer di uscita, il che conferma il poter impiegare un solo operatore per lo scarico.

Per quanto riguarda l'ingresso dei prodotti, 1 ogni 0,9 secondi, si può pensare che sia plausibile l'azione di un solo operatore per mantenere questo ritmo.

### 3.3 Simulazioni a 6000 prod/ora

La terza e la quarta simulazione hanno una produttività di 6000 pezzi ogni ora, che corrisponde alla produttività massima richiesta in sede di progettazione.

Ogni load viene fatto entrare nel sistema dopo 0,6 secondi dal precedente.

La prima simulazione delle due è stata eseguita impiegando una sola delle due colmatrici e avendo un bypass del trattamento termico del 90%, valore adottato anche per le prime due simulazioni.

Volendo poi confrontare la stessa linea con stessa produttività, ma usando entrambe le colmatrici e utilizzando un rateo di bypass del 92,5%, si è svolta la quarta, ed ultima, simulazione.

Di seguito verranno confrontate le due simulazioni rispetto ai parametri presi in considerazione nelle precedenti simulazioni.

#### 3.3.1 Linee generali

Di seguito è riportato come si presenta la linea dopo le 8 ore di simulazione impiegando una sola colmatrice e un bypass del 90%:

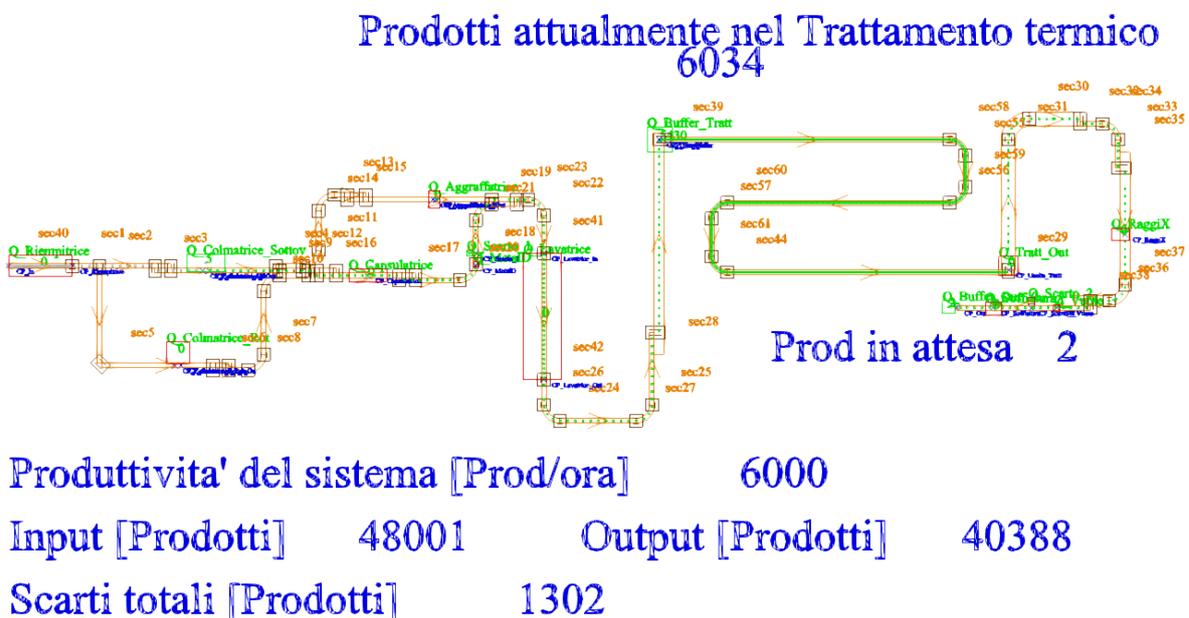


Figura 40: Linea a produttività 6000 prod/ora, con una sola colmatrice e 90% di bypass, dopo la simulazione

La linea alla fine della quarta simulazione appare invece in questo modo:

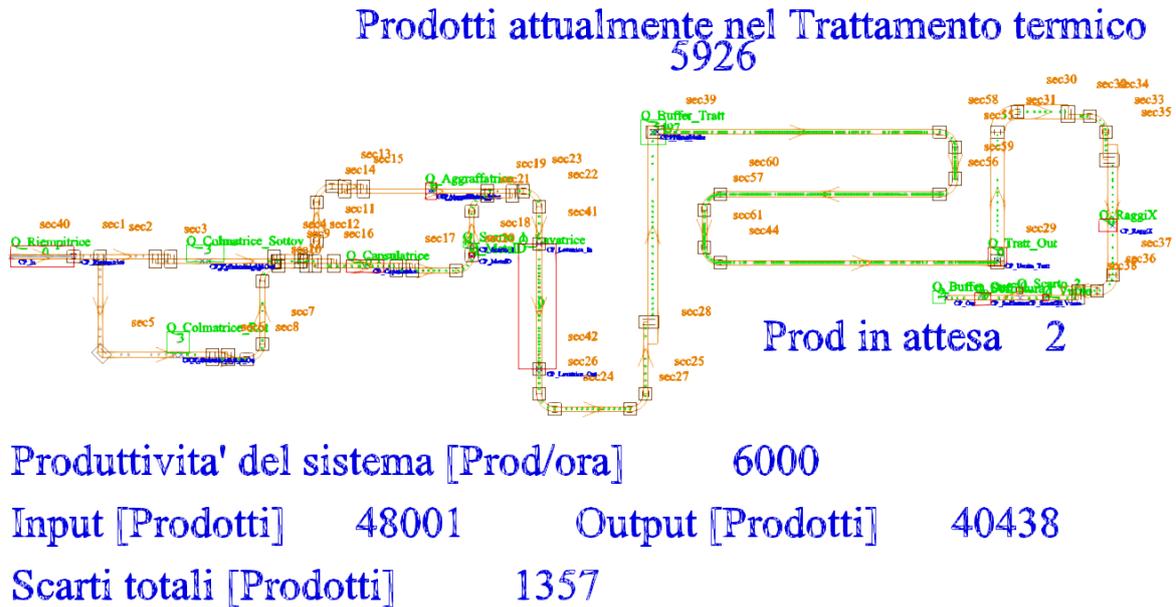


Figura 41: Linea a produttività 6000 prod/ora, con entrambe le colmatrici in funzione e 92,5% di bypass, dopo la simulazione

Si nota immediatamente come il tunnel del trattamento termico sia molto più popolato nella simulazione con un bypass del 90%, rispetto a quella con bypass del 92,5% ed è infatti questo il motivo per cui si è deciso di verificare la stessa situazione della linea utilizzando una percentuale diversa di bypass.

Un nastro trasportatore così popolato può portare ad avere ritardi nel processo di pastorizzazione, che verranno discussi successivamente utilizzando i grafici appropriati.

Nella prima delle due simulazioni in questione, i prodotti ancora nel sistema allo scadere delle 8 ore sono circa 6300 e come già visto in precedenza, la maggioranza si trova nel pastorizzatore.

Guardando, invece, alla seconda simulazione, la mole di prodotti in uscita è maggiore di circa 50 unità, così come lo scarto, mentre i prodotti all'interno del trattamento termico sono di poco inferiori a prima.

Anche questo potrebbe star segnalando dei problemi per quanto riguarda l'utilizzo di un bypass del 90% nel modello del trattamento termico.

Un ulteriore aspetto che si ritiene interessante puntualizzare riguarda il tratto di nastro che simula la riempitrice.

Questo, infatti, in entrambe le linee (fig.40,41) risulta estremamente popolato di prodotti, come si riporta nella immagine a lato.

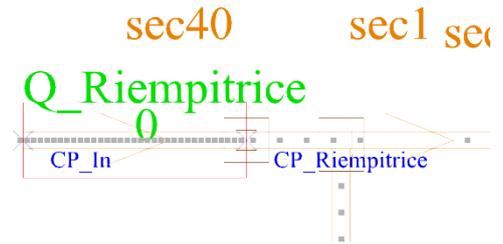


Figura 42: Particolare della riempitrice nella simulazione a 6000 prod/ora

Si potrebbe pensare alla presenza di un ingorgo all'entrata del sistema e che quindi i prodotti faticino ad entrare nel nastro per iniziare il loro percorso.

Avendo però modellato la queue Q\_Riempitrice come un buffer, si può controllare l'andamento del numero di prodotti al suo interno durante le 8 ore della simulazione.

Questo perché i prodotti entrano tutti dapprima in questa queue, poi arrivano sul nastro trasportatore non appena il control point iniziale risulta libero dal prodotto precedente.

Se ci fosse un ingorgo si avrebbero dei prodotti che rimangono in attesa nel buffer.

Il grafico che si ottiene per monitorare il numero di prodotti all'interno della queue è il seguente:

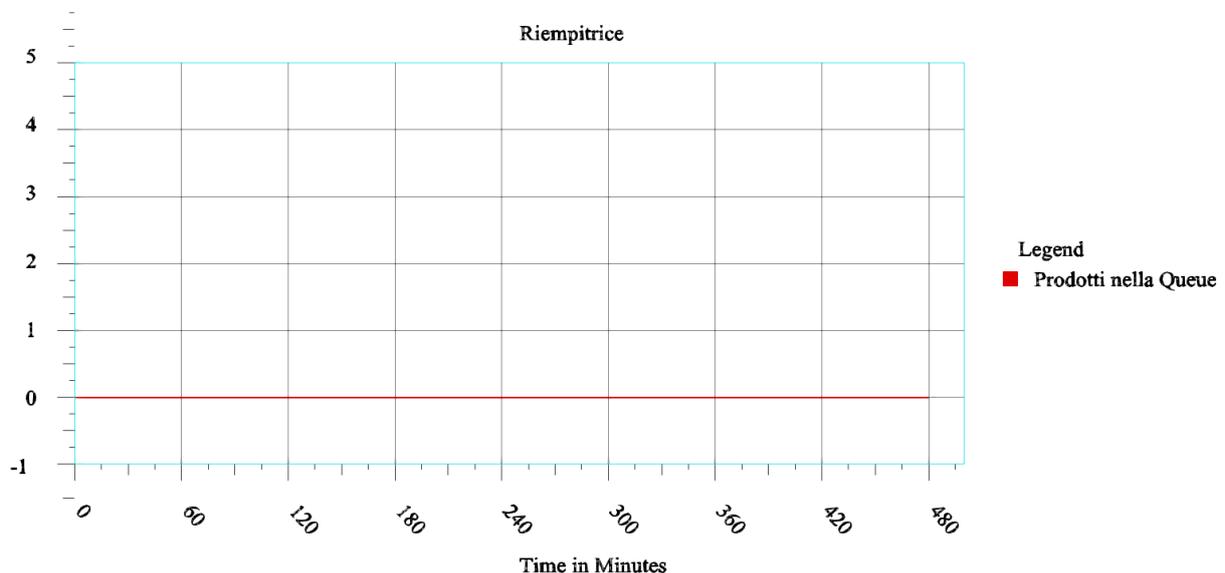


Figura 43: Andamento del numero dei prodotti nella queue di ingresso al sistema per una produttività di 6000 prod/ora

Si può immediatamente notare come il valore di prodotti in attesa nel buffer sia sempre pari a 0.

Questo allora smentisce la possibilità di un ingorgo all'entrata del sistema, perché altrimenti si avrebbero dei prodotti in attesa all'interno della queue.

### 3.3.2\_Utilizzo colmatrici

Altra differenza tra le due linee è l'utilizzo o meno, come già accennato, di entrambe le colmatrici.

Questo però non sembra portare a differenze sostanziali tra le due linee, che non presentano ingorghi in corrispondenza delle macchine in questione.

Verrà ora approfondito questo tema utilizzando i grafici proposti anche per le precedenti simulazioni.

Rispetto alla simulazione con una sola colmatrice, il grafico dei prodotti contemporaneamente al suo interno è il seguente:

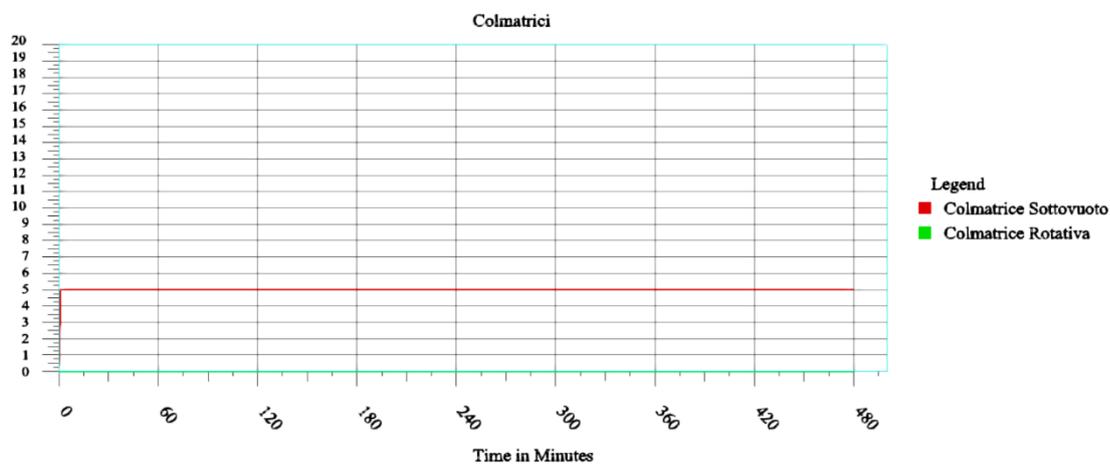


Figura 44: Prodotti contemporaneamente lavorati dalle colmatrici a produttività pari a 6000 prod/ora, con solo una delle due in funzione

Per quanto riguarda la seconda delle due simulazioni, dove sono utilizzate entrambe le macchine, il grafico si presenta in questo modo:

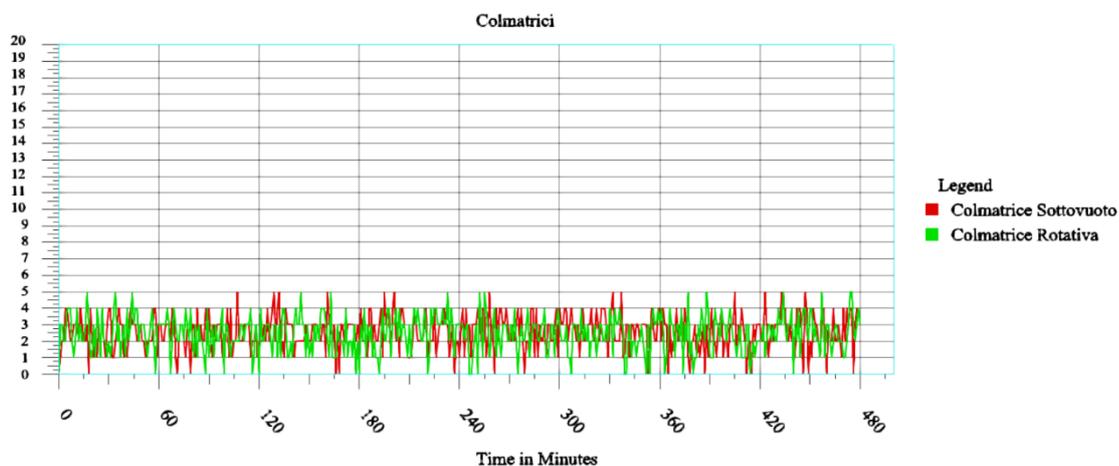


Figura 45: Prodotti contemporaneamente lavorati dalle colmatrici a produttività pari a 6000 prod/ora, con entrambe in funzione

Nella prima simulazione con solo una colmatrice in azione, si ha un valore costante di 5 prodotti lavorati contemporaneamente dalla macchina, che non si avvicina alla soglia di capienza massima.

Nella seconda simulazione, invece, in entrambe le colmatrici si hanno sempre picchi di 5 prodotti lavorati contemporaneamente, ma in generale il valore medio si aggira sui 2/3 dei prodotti lavorati nello stesso momento.

Si può concludere che anche in questo caso con produttività di 6000 prod/ora, sia comunque conveniente mantenere attiva solo una delle due colmatrici e avere la seconda solo in caso di guasto, visto che comunque non si hanno più di 5 prodotti in lavorazione contemporaneamente.

### 3.3.3\_Trattamento termico

L'andamento del numero di prodotti contemporaneamente all'interno del pastorizzatore nelle due simulazioni ha valori estremamente simili.

Il grafico riguardante la simulazione con un valore di bypass del 90% si presenta in questo modo:

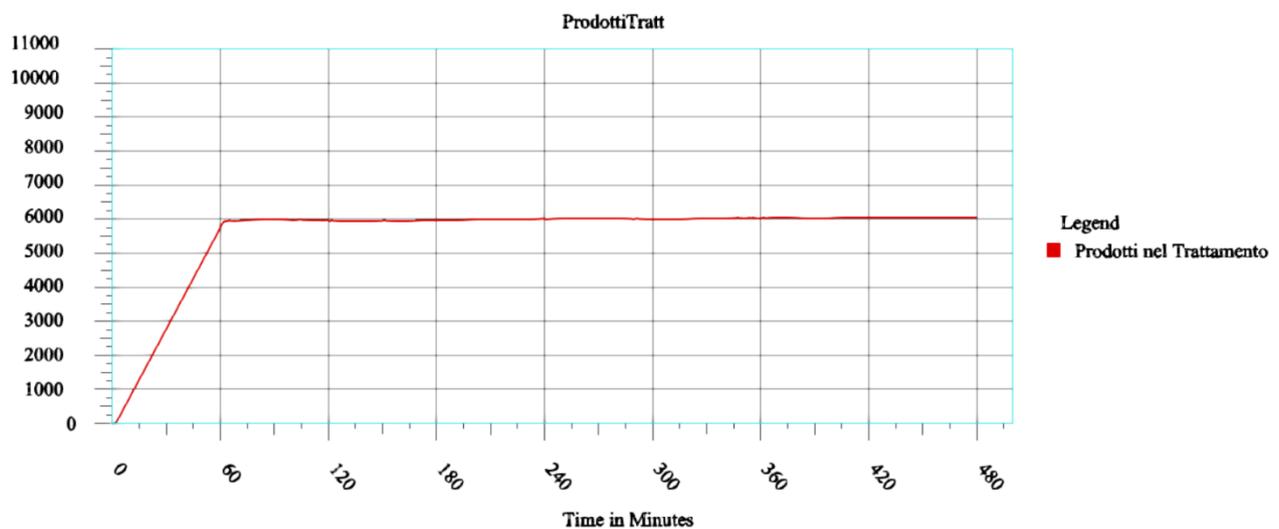


Figura 46: Prodotti all'interno del trattamento termico durante la simulazione a 6000 prod/ora, con un bypass del 90%

6000 prodotti contemporaneamente all'interno del trattamento, sono un numero compatibile anche con l'immagine della linea alla fine della simulazione.

Il grafico ottenuto dalla seconda simulazione con un bypass del 92,5% è il seguente:

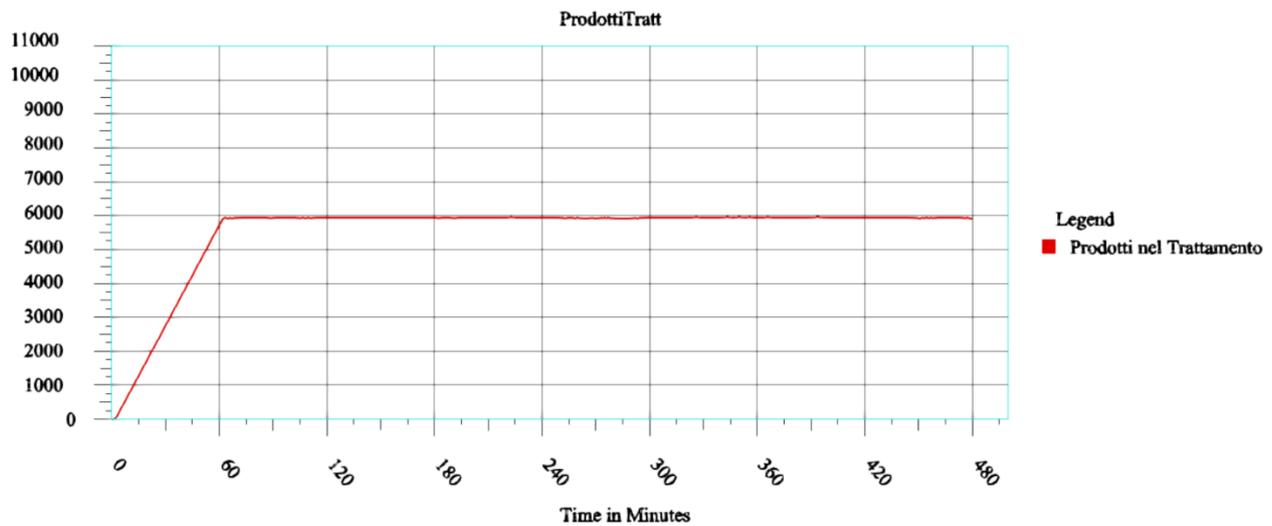


Figura 47: Prodotti all'interno del trattamento termico durante la simulazione a 6000 prod/ora, con un bypass del 92,5%

Si nota immediatamente la somiglianza con il grafico precedente: unica differenza è che il numero dei prodotti contemporaneamente all'interno della macchina è leggermente inferiore.

Questo aspetto si può ben vedere anche durante il confronto delle due linee alla fine della simulazione (fig.40,41), perché si ha un numero minore di prodotti all'interno del trattamento termico nella simulazione con un bypass del 92,5%.

L'aspetto principale che ha portato al voler confrontare due simulazioni con stessa produttività è stato il tempo di permanenza dei prodotti all'interno del pastorizzatore.

Infatti, per quanto il numero dei prodotti all'interno del trattamento non subisca un cambiamento importante al variare del bypass, l'andamento del tempo che questi prodotti impiegano per attraversare il nastro trasportatore, che modella il pastorizzatore, varia in modo netto tra le due simulazioni.

Di seguito vengono riportati i grafici riguardanti entrambe le simulazioni e ne sono discussi i risultati.

Riguardo alla prima delle due simulazioni, il grafico appare così:

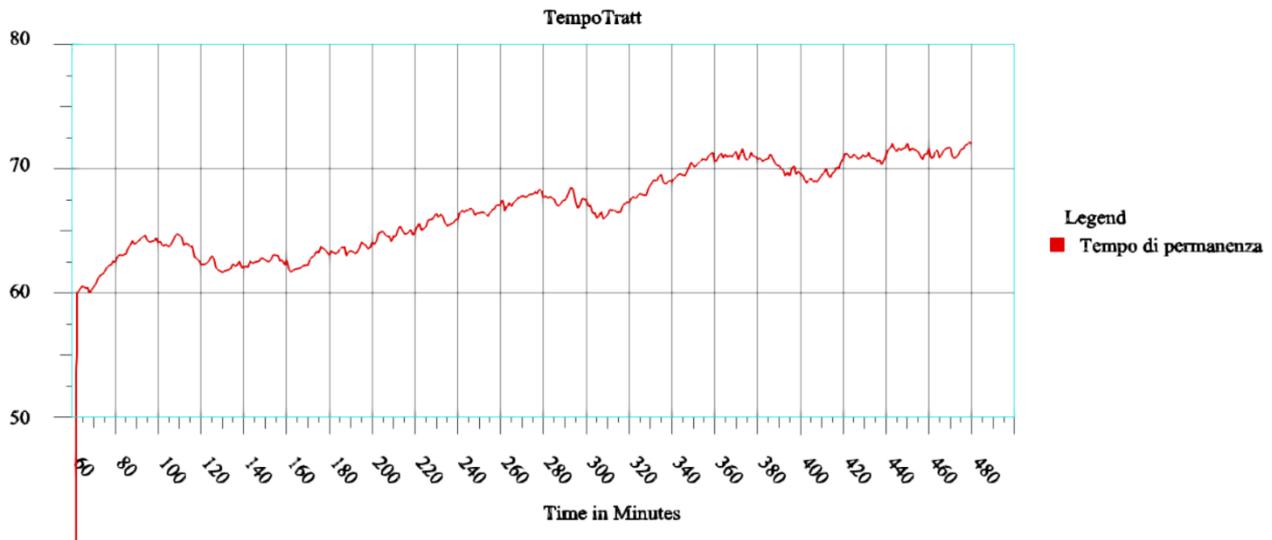


Figura 48: Tempo di permanenza dei prodotti nel pastorizzatore durante la simulazione a 6000 prod/ora con 90% di bypass

Mentre il grafico che deriva dalla seconda simulazione è di questo tipo:

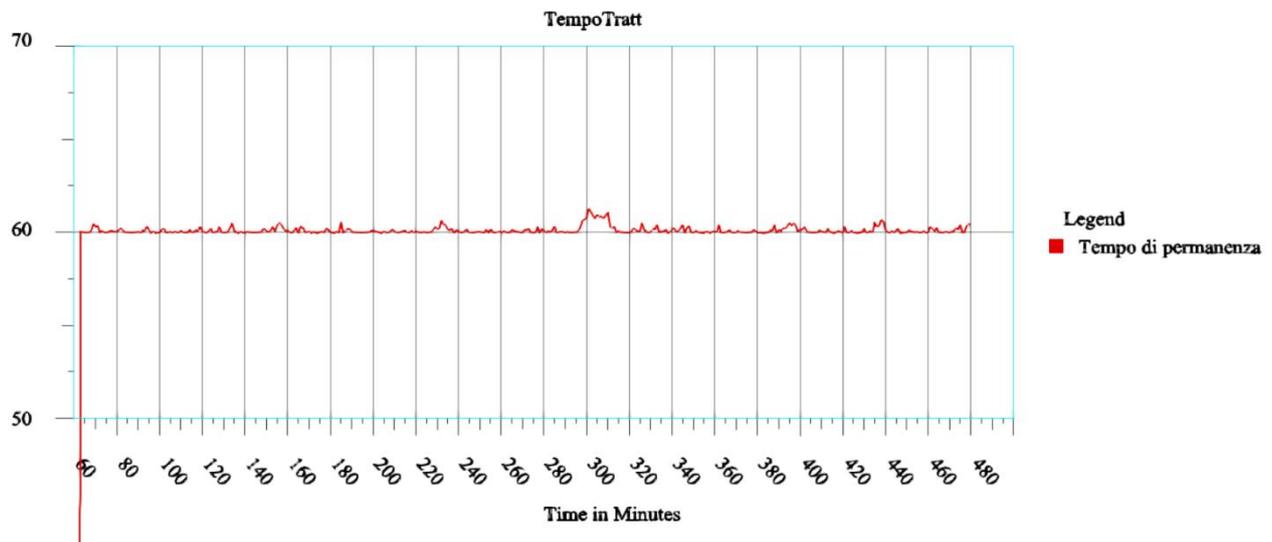


Figura 49: Tempo di permanenza dei prodotti nel pastorizzatore durante la simulazione a 6000 prod/ora con 92,5% di bypass

È chiaro come il primo dei due grafici (fig.48) risulti estremamente diverso da quelli visti nelle prime due simulazioni (fig.33,38), che avevano un andamento costante attorno ai 60 minuti per prodotto.

Il fatto che il tempo di percorrenza dei prodotti sia crescente rivela che sono effettivamente presenti sempre più prodotti in attesa di essere posizionati sul nastro.

Il conteggio del tempo di percorrenza parte non appena il prodotto arriva nel buffer iniziale del trattamento e prosegue anche se il prodotto non viene immediatamente posizionato sul control point iniziale per procedere nel suo percorso.

Il prodotto non arriva sul control point iniziale del nastro finché il prodotto precedente, proseguendo nel suo percorso, non lo lascia libero.

Questo porta a ritardi e ingorghi nell'attraversamento del nastro trasportatore, come si era ipotizzato osservando le immagini delle linee alla fine delle 8 ore.

Per verificare se l'errore derivi o meno dalla modellazione adottata, anche se appare chiaro che non si tratti di un problema dovuto alla capacità massima della macchina, si è deciso di effettuare anche una simulazione aumentando la percentuale dei prodotti che bypassano il nastro.

Questo fa in modo che la capacità massima del nastro non sia un limite, dato che, comunque, quest'ultimo è solamente un riscontro visivo di un ciclo di lavoro del pastorizzatore e non corrisponde al suo reale funzionamento.

Una volta conclusa la seconda simulazione si può osservare che l'andamento del grafico (fig.49) risulta in linea con quelli già presentati per le due simulazioni precedenti a 2000 e 4000 prodotti/ora.

Questo conferma che l'andamento del primo grafico (fig.48) è derivato completamente dalla modellazione adottata e non è riconducibile ad un errore di dimensionamento della linea.

Grazie a questa modifica, allora, il comportamento del modello si rivela, anche in questo caso, simile al reale comportamento della macchina.

### 3.3.4 Buffer in uscita

L'ultimo aspetto preso in considerazione per entrambe le linee a produttività massima, in analogia alle altre simulazioni, è il numero di prodotti nel buffer di uscita.

Il grafico della simulazione con bypass del 90% appare in questo modo:

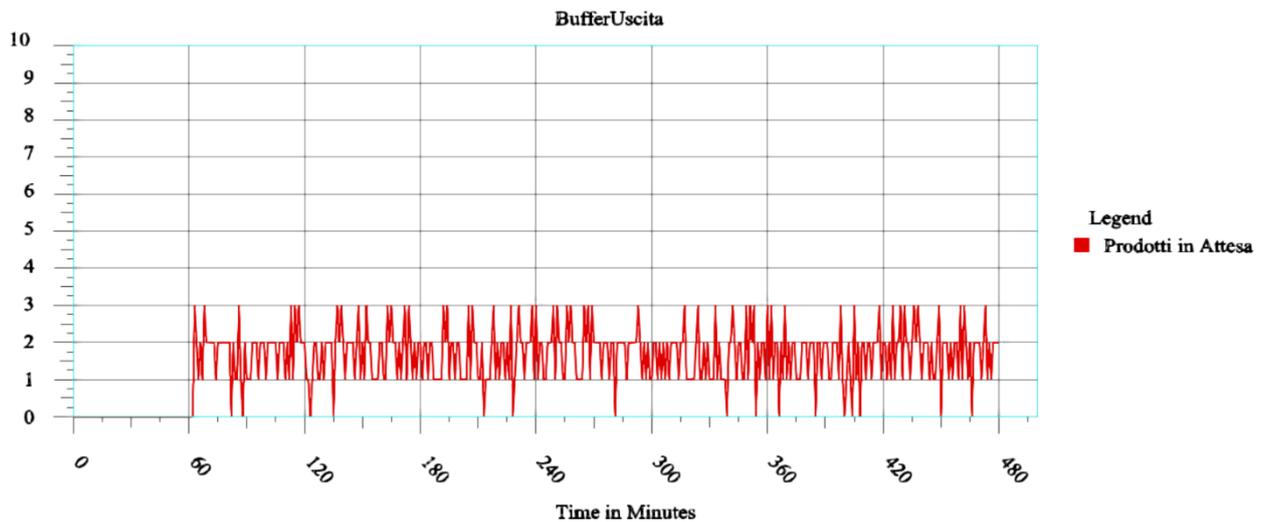


Figura 50: Prodotti presenti nel buffer in uscita durante la simulazione a 6000 prod/ora, con un bypass del 90%

Mentre per un bypass del 92,5% si ha il seguente andamento:

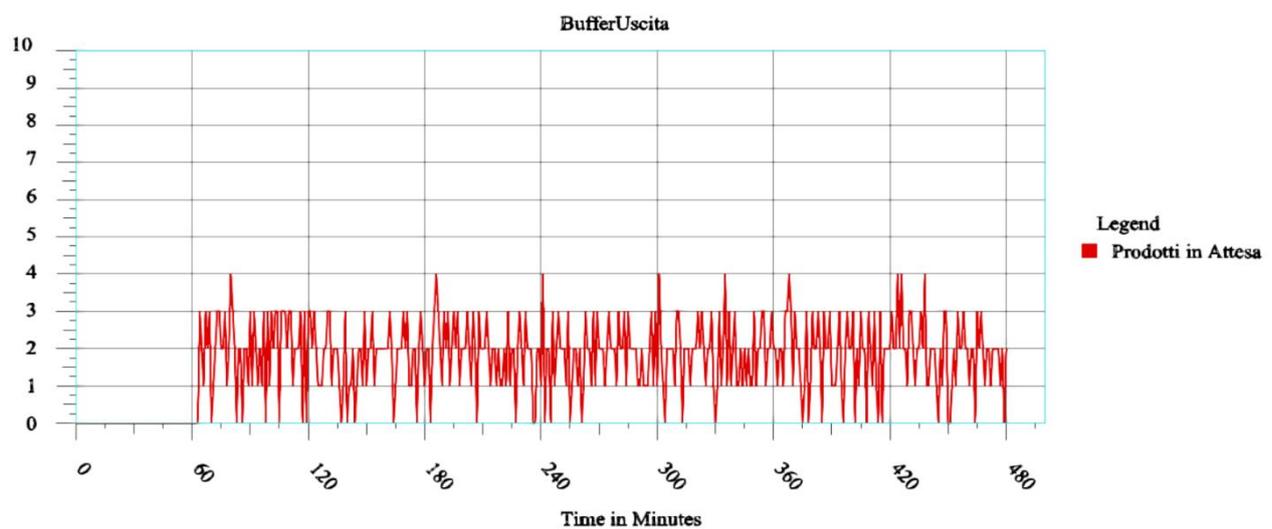


Figura 51: Prodotti presenti nel buffer in uscita durante la simulazione a 6000 prod/ora, con bypass del 92,5%

L'unica differenza tra i due andamenti è la presenza di alcuni picchi di 4 prodotti in attesa per quanto riguarda la simulazione con bypass al 92,5%.

Questo è plausibile considerando che, guardando alla linea generale alla fine delle simulazioni, si era notato un leggero aumento dei prodotti in uscita, dovuto al fatto che con un bypass maggiore non si hanno ritardi all'interno del pastorizzatore.

Con un picco massimo di 4 prodotti in attesa contemporaneamente all'uscita, si può comunque pensare che basti un solo operatore per lo scarico dei barattoli alla fine della linea.

## 4\_CONCLUSIONI

Questo lavoro di tesi è partito dal voler studiare come la linea di produzione si sarebbe comportata rispetto a diversi valori di produttività, considerando che il progetto è stato realizzato per una produttività richiesta di 4000 pezzi/ora, tramite una serie di simulazioni a diversi valori di produttività.

Per la prima delle 4 simulazioni effettuate è stato scelto un valore di produttività minore di quella richiesta, 2000 prod/ora, così da avere un primo riscontro su possibili problemi legati alla modellazione della linea in Automod e per raccogliere dati da poter confrontare con le successive simulazioni.

Come si poteva immaginare la linea è stata ben in grado di lavorare senza intoppi per la produttività di 2000 pezzi/ora, senza aver bisogno di utilizzare entrambe le colmatrici in parallelo, ma mantenendone in funzione una sola e tenendo la seconda in caso di guasto.

La modellazione adottata per riprodurre le macchine e la linea su Automod non ha dato problemi e si è dimostrata adatta a simularne il comportamento reale.

Si è verificato che è possibile lasciare il compito del carico e scarico dei prodotti ad un solo operatore manuale, non essendo elevato il traffico dei prodotti in entrata e uscita dal sistema.

La simulazione successiva è stata quella con valore di produttività pari a quello richiesto dai dati di progetto: 4000 prod/ora.

Anche in questo caso l'impianto si è dimostrato ben in grado di fornire la produttività richiesta dal cliente senza intoppi o ritardi, si è anche verificato che gli andamenti dei grafici ottenuti in questa simulazione fossero in linea con quelli ottenuti nella simulazione a 2000 prod/ora.

Non è necessario, per questo valore di produttività, mantenere in funzione entrambe le colmatrici; ne basta una sola delle due per lavorare la mole di prodotti relativa a questo caso, potendo utilizzare l'altra al bisogno.

Si ritiene plausibile che le azioni di carico e di scarico dei prodotti a inizio e fine della linea siano svolte da un solo operatore in entrata e da un solo operatore in uscita, dato che il flusso di prodotti che si ha in questo caso non è troppo elevato per poter essere maneggiato da una sola persona.

Le ultime due simulazioni sono entrambe a produttività 6000 prod/ora e sono state realizzate per verificare il comportamento della linea nei casi di maggior stress.

La linea nella prima delle due simulazioni ha avuto un ritardo nel pastorizzatore che si è potuto notare grazie al grafico del tempo di permanenza nei prodotti all'interno di questa macchina.

Come già spiegato precedentemente, però, questo ritardo è dovuto alla modellazione della macchina e non al progetto della macchina stessa.

Questo ritardo, infatti, non si è ripresentato nella seconda simulazione a produttività 6000 prod/ora una volta aumentato il valore di bypass nel modello del pastorizzatore.

Gli andamenti dei grafici restanti si sono rivelati in linea con quelli trovati nelle prime due simulazioni.

Per quanto riguarda l'utilizzo delle colmatrici, dopo aver analizzato l'andamento della linea impiegando una sola macchina oppure entrambe in contemporanea, si può affermare che anche qui si può utilizzarne una sola, tenendo l'altra in caso di guasto.

Allo scarico dei prodotti è plausibile che sia necessaria l'azione di un solo operatore manuale, mentre si ritiene opportuno fare un ragionamento per quanto riguarda il caricamento dei prodotti all'inizio della linea.

Bisogna, infatti, considerare che una produttività di 6000 pezzi all'ora richiede che entri un prodotto ogni 0,6 secondi, il che è difficile da realizzare per un solo operatore, anche considerando che quest'ultimo debba solamente caricare i prodotti al di sopra del piatto rotante, quindi senza che sia richiesta una particolare precisione per caricarli correttamente sul nastro trasportatore.

Una soluzione potrebbe essere quella di inserire un metodo automatico per il caricamento dei barattoli, il che porterebbe, però, ad un aumento repentino dei costi, che graverebbero sul prodotto finito.

Tutto questo, comunque, sarebbe sprecato conoscendo che la produttività massima in questione non è quella richiesta normalmente dalla linea.

Si ritiene allora che la proposta migliore sia quella di prevedere un operatore aggiuntivo per quanto riguarda il caricamento dei prodotti in caso di necessità.