

UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Gestionale

UTILIZZO DELLA SIMULAZIONE PER L'ANALISI DELLE PRESTAZIONI DI SISTEMI MANIFATTURIERI

USE OF SIMULATION FOR THE PERFORMANCE ANALYSIS OF MANUFACTURING SYSTEMS

Relatore: Sara Antomarioni

Prof. **Maurizio Bevilacqua**

Tesi di Laurea di:

Mattia Torresi

A.A. **2022** / **2023**

INDICE

INTRODUZIONE **3**

L'ATTIVITÀ MANIFATTURIERA E L'INDUSTRIA 4.0 ..... **4**

1.1 LE TECNOLOGIE ABILITANTI **6**

LA SIMULAZIONE IN AMBIENTI INDUSTRIALI **11**

2.1 CAMPI DI APPLICAZIONE 12

2.2 VANTAGGI E SVANTAGGI DELLA SIMULAZIONE 13

2.3 SCHEMA DELLO STUDIO DI UN PROBLEMA BASATO SULLA SIMULAZIONE 14

2.4 I MODELLI DI SIMULAZIONE 16

2.5 ELEMENTI DI UN MODELLO DI SIMULAZIONE 16

2.6 CLASSIFICAZIONE DEI MODELLI 17

2.7 SIMULAZIONE AD EVENTI DISCRETI 18

2.8 SYSTEM DYNAMICS 20

2.9 SYSTEM DYNAMICS VS DESCRET EVENT SIMULATION 20

IL SOFTWARE DI SIMULAZIONE ANYLOGIC **22**

3.1 APPROCCIO MULTI-METODO ALLA MODELLAZIONE 23

3.1.1 VANTAGGI DELLA MODELLAZIONE MULTIMETODO *24*

3.2 IL LINGUAGGIO DI SIMULAZIONE DI ANYLOGIC 25

3.3 LIBRERIE DI ANYLOGIC 27

3.4 VANTAGGI NEL SIMULARE I PROCESSI CON ANYLOGIC 29

CASO DI STUDIO **30**

4.1 L'AZIENDA 30

4.2 IL PRODOTTO 30

4.3 IL PROCESSO 31

4.3.1 FASE F10 ..... *31*

4.3.2 FASE F20 ..... *34*

4.4 IL MODELLO 35

4.4.1 RISORSE 35

4.4.2 FASE F10-ASSEMBLAGGIO 36

4.4.3 F10-CONTROLLO QUALITA' 39

4.4.4 F20-INSCATOLAMENTO 41

ANALISI DEI RISULTATI 44

5.1 AGGIUNTA DI UN OPERATORE 45

5.2 PARALLELIZZAZIONE FASE F10 46

5.3 CONFRONTO DEI RISULTATI 47

CONCLUSIONI 48

BIBLIOGRAFIA 49

INTRODUZIONE

Nel panorama industriale contemporaneo, caratterizzato da una crescente complessità e competizione globale, l'efficienza e la competitività sono diventate due fattori cruciali per la sopravvivenza delle imprese manifatturiere sul mercato.

Le aziende si trovano quindi costantemente alla ricerca di strategie e strumenti innovativi che consentano di ottimizzare i processi produttivi, ridurre i costi e migliorare la qualità dei prodotti. In questo contesto, la simulazione rappresenta un valido strumento per l'analisi e l'ottimizzazione dei sistemi manufatturieri, ma che al giorno d'oggi non viene ancora particolarmente considerato.

La simulazione offre l'opportunità di creare modelli matematici e computazionali dei processi industriali, consentendo di esplorarne il funzionamento in un ambiente virtuale. Questo approccio consente di valutare diverse strategie, identificare potenziali problemi e testare soluzioni senza l'obbligo di effettuare cambiamenti fisici nell'ambiente produttivo.

L'obbiettivo principale di questa tesi è quindi quello di dimostrare come l'applicazione della simulazione possa consentire una valutazione approfondita delle prestazioni dei sistemi manifatturieri e che con le informazioni ottenute da questa analisi si possano prendere decisioni informate.

Per raggiungere questo obiettivo, in questa tesi si analizzerà il processo di assemblaggio e inscatolamento di un rubinetto prodotto in un'azienda abruzzese. L'analisi è stata condotta creando un modello in AnyLogic che ne simuli il funzionamento. Una volta realizzato il modello si sono apportate delle modifiche per confrontare le informazioni ottenute con quelle del processo precedente così da dimostrare l'utilità della simulazione come strumento di supporto alle decisioni.

CAPITOLO 1

L'ATTIVITÀ MANIFATTURIERA E L'INDUSTRIA 4.0

L'attività manifatturiera è un settore dell'industria che si occupa, mediante adempimento di macchine, strumenti e manodopera, della trasformazione delle materie prime in prodotti finiti.

Si tratta di un settore molto ampio che comprende una molteplicità di mercati e ambiti diversi che spaziano dall'elettronica all'alimentazione, dal tessile alla meccanica; non a caso rappresenta infatti una delle fonti principali di produzione nei paesi più sviluppati.

L'industria manifatturiera, prima dell'avvento della rivoluzione industriale, era basata principalmente sulla produzione artigianale di beni. Era composta esclusivamente da individui esperti che attraverso lavorazioni manuali e tecnologiche trasformavano la materia prima in prodotto finito. Si trattava quindi di una produzione molto limitata e costosa basata quasi interamente sul lavoro umano. (1)

Con il passare degli anni, il ruolo centrale che aveva l'uomo venne gradualmente occupato da macchine sempre più automatizzate e tecnologiche che migliorarono di molto l'efficienza e la capacità produttiva dell'industria manifatturiera fino a renderla la principale fonte di sostentamento dei paesi più industrializzati di oggi. (2)

Da qualche anno a questa parte l'industria manifatturiera sta subendo gli effetti della quarta rivoluzione industriale anche chiamata industria 4.0. Questo termine venne utilizzato per la prima volta nel 2011 durante la fiera di Hannover in Germania in cui venne presentato il progetto Zukunftsprojekt il cui obbiettivo era quello di rinnovare il sistema produttivo tedesco. Il primo vero piano di implementazione, tuttavia, si ebbe solo nell'ottobre del 2012 quando un gruppo di lavoro presentò al governo tedesco una serie di implementazioni che avevano come obbiettivo quello di promuovere alcune politiche di lungo termine per la digitalizzazione del settore manifatturiero. Tale piano venne introdotto in Italia solo nel 2016 dal ministro Carlo Calenda e prevedeva un insieme di misure in grado di favorire gli investimenti per l'innovazione e la competitività. (3)

Il paradigma industria 4.0 fa dunque riferimento ad una tendenza dell'automazione industriale che integra nuove tecnologie produttive e digitali al fine di migliorare non solo le condizioni lavorative ma anche la produttività e la qualità produttiva degl'impianti.

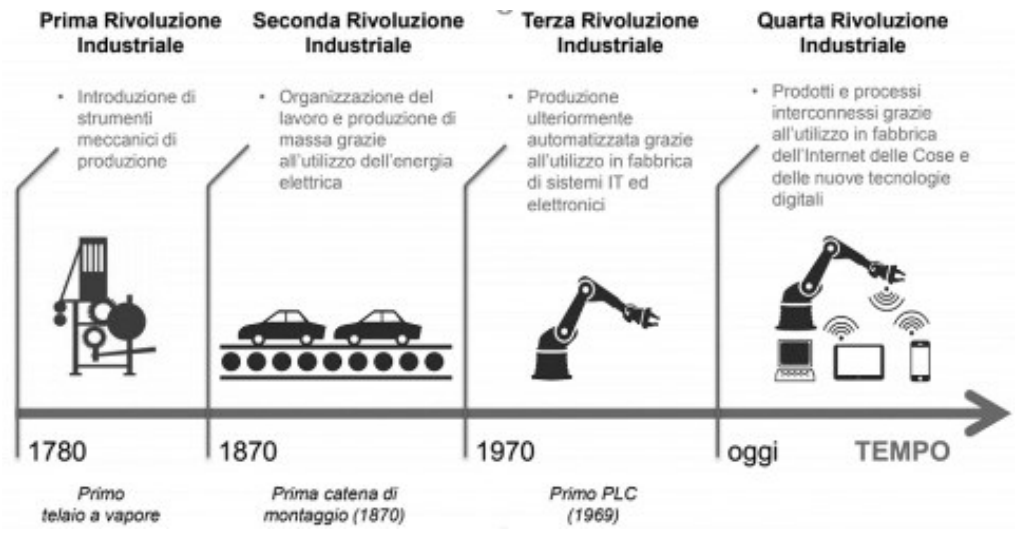


Figura 1 Industria 4.0, cos'è, storia, tecnologie 4.0, incentivi e agevolazioni in Italia (economyup.it)

Per comprendere meglio il fenomeno dell'industria 4.0 gli esperti del Boston Consulting parlano di SMART FABRIC prevedendo una ripartizione dei cluster tecnologici su tre livelli. (4)

- SMART PRODUCTION
  Comprende tutte le tecnologie che creano un legame di collaborazione tra operatori, macchine e strumenti, ovvero tra tutti i componenti che contribuiscono alla produzione.

- SMART SERVICE
  È un insieme di infrastrutture tecniche ed informatiche che consentono non solo di collegare i diversi componenti all'interno di un'organizzazione ma anche di semplificare la comunicazione tra aziende e strutture esterne.

- SMART ENERGY
  Sono tecnologie all'avanguardia che svolgono un ruolo cruciale nell'evoluzione del nostro approccio all'energia, permettono cioè di migliorare l'efficienza energetica dei sistemi in un mondo orientato sempre più verso la sostenibilità

La quarta rivoluzione industriale vede quindi come protagonista l'utilizzo di tecnologie abilitanti all'interno dell'impianto di produzione, sintetizzabili in tre ambiti:

- Disponibilità di dati digitali e analitica dei Big Data
- Robotica e automazione avanzata
- connettività spinta

Il primo ambito, ovvero quello dei big data, prende in considerazione tutte quelle tecnologie innovative come la sensoristica a basso costo e il cloud computing ma anche tutti quegli strumenti di virtualizzazione del processo produttivo, prototipazione rapida e intelligenza artificiale. Tali tecnologie consentono di raccogliere, elaborare e analizzare grandi quantità di dati a costi sempre più bassi, e quindi di ottenere una maggiore quantità e migliore qualità di informazioni che verranno utilizzate per prendere decisioni e fare previsioni in maniera sempre più accurata sulla produzione e sul consumo. Il secondo ambito riguarda invece la robotica e l'automazione e quindi quelle nuove tecnologie che permettono una migliore interazione tra uomo e macchina, che consentono di ridurre gli errori, i tempi e i costi dei processi e di migliorare la sicurezza durante le operazioni. La connettività spinta è l'ultimo ambito di utilizzo delle tecnologie abilitanti ed è rappresentata da reti di connessione di nuova generazione che attraverso dispositivi e sensoristica intelligente (Internet of Things) interconnettono la catena del valore. (4)

1.1 LE TECNOLOGIE ABILITANTI

il Boston Consulting definisce le 9 tecnologie abilitanti:

Intelligenza Artificiale (IA), Machine Learning (ML) e Deep Learning (DP)

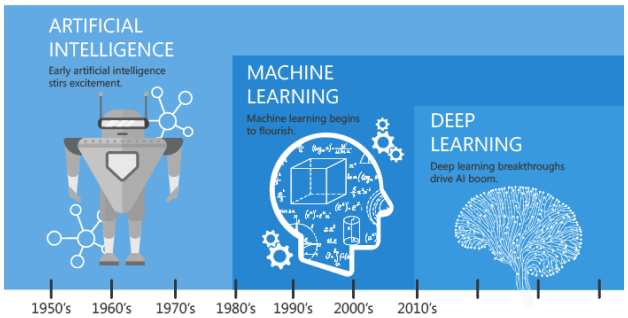


Figura 2 differenza tra machine learning e deep learning (https://vitolavecchia.altervista.org/)

rappresentano tre delle tecnologie più rivoluzionarie e pervasivamente utilizzate nel mondo contemporaneo. L'IA è un campo multidisciplinare che mira a sviluppare sistemi o programmi in grado di eseguire attività che richiedono intelligenza umana, come l'apprendimento, il ragionamento, la risoluzione di problemi e l'adattamento a nuove situazioni. Il ML è una branca dell'IA che si concentra sullo sviluppo di algoritmi che consentono ai computer di apprendere dai dati, migliorando le loro prestazioni nel tempo senza essere esplicitamente programmati. Il Deep Learning, a sua volta, è un'evoluzione del ML che si basa su reti neurali profonde, ispirate al

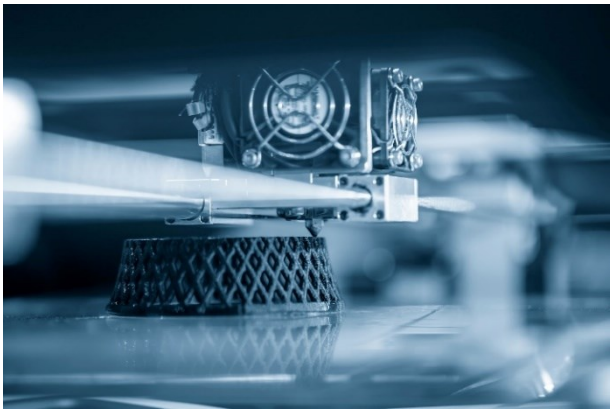
funzionamento del cervello umano, per analizzare dati complessi e riconoscere modelli altamente intricati.

La chiave del successo dell'intelligenza artificiale, del machine learning e del deep learning risiede nella loro capacità di elaborare enormi quantità di dati, identificare pattern nascosti e prendere decisioni intelligenti basate su queste informazioni.

Queste tecnologie stanno avendo un impatto straordinario in vari settori. In campo medico, contribuiscono alla diagnosi più accurata di malattie, alla scoperta di nuovi farmaci e all'analisi di dati sanitari complessi, nel settore dell'automazione industriale, migliorano l'efficienza dei processi manifatturieri e la manutenzione preventiva delle apparecchiature. Nell'ambito della mobilità, guidano lo sviluppo di veicoli autonomi, rivoluzionando il modo in cui ci spostiamo. Nel marketing, personalizzano l'esperienza dei clienti e l'analisi dei dati. Inoltre, l'IA è utilizzata nella sicurezza informatica per rilevare minacce e violazioni.

Manifattura additiva

comunemente conosciuta come stampa 3D o produzione additiva, è un processo di fabbricazione avanzato che consiste nella creazione di oggetti tridimensionali aggiungendo materiale strato dopo strato. Questa tecnologia permette di produrre componenti e oggetti complessi, spesso personalizzati, a partire da modelli digitali 3D.



La stampa 3D sempre più popolare: la diffusione anche fra pmi e per produzioni di massa (industriaitaliana.it)

Tutto inizia quindi con la creazione di un modello digitale tridimensionale mediante un software di progettazione assistita al computer (CAD), che viene poi suddiviso in sezioni orizzontali, o strati, che servono da guida per il processo di stampa.

A seconda delle modalità di deposito dei materiali si distinguono varie tecnologie di stampaggio 3D: la fotopolimerizzazione basata sull'indurimento di materiale polimerico tramite luce ultravioletta, l'estrusione basata sull'utilizzo di un filamento di materiale plastico fuso, che viene estruso attraverso un ugello e depositato strato dopo strato per creare oggetti, Il material getting che consiste nella creazione di gocce di materiale che vengono fornite alla stampante in varie forme e, successivamente, depositate direttamente sul pezzo, il bending jetting basato su una sequenza che prevede prima la stesura dello strato principale e poi la deposizione su di esso di un materiale che serve ad incollare le

particelle di polvere precedentemente stese e la fusione che solitamente utilizza un laser ad alta potenza per fondere e solidificare polveri metalliche o leghe, strato dopo strato, al fine di creare componenti metallici complessi e resistenti. Queste sono solo alcune delle tecniche di stampaggio utilizzate in ambito industriale.

La manifattura additiva presenta una molteplicità di vantaggi: permette ad esempio la produzione di geometrie complesse che sarebbero difficili o impossibili da ottenere con i metodi tradizionali, riduce gli sprechi di materiale, in quanto viene utilizzato solo il materiale necessario. Inoltre, consente anche la prototipazione rapida, accelerando così il ciclo di sviluppo dei prodotti. Ad oggi, tuttavia, la manifattura additiva presenta ancora una serie di problematiche legate alla qualità dei prodotti realizzati, i tempi di realizzazione e i costi di produzione che non la rendono una tecnologia vantaggiosa per la produzione.

Realtà Aumentata (RA) e Realtà Virtuale (RV)



Figura 3 realtà virtuale o realtà aumentata (hseinrete.com)

La Realtà Aumentata (RA) è una tecnologia innovativa che sovrappone elementi digitali, come immagini, video, suoni o oggetti 3D generati al computer, al mondo reale in tempo reale. Questa sovrapposizione viene solitamente visualizzata tramite dispositivi come smartphone, tablet, visori AR o occhiali intelligenti. Tale tecnologia combina il mondo virtuale a quello fisico, permettendo all'operatore di interagire con il mondo reale arricchito da informazioni digitali.

La realtà virtuale invece crea un ambiente completamente immersivo e simulato che sostituisce la realtà fisica dell'utente con quella digitale. Gli utenti, indossando visori VR, vengono trasportati in un mondo digitale isolato dal mondo esterno in cui possono esplorare e interagire con oggetti e scenari creati al computer.

Internet of Things (IoT)



Figura 4 internet of things cos'è e a cosa serve (www.tiot.it)

L'Internet of Things (IoT), tradotto in italiano come "Internet delle Cose", è un paradigma tecnologico che si basa sulla connessione di oggetti fisici, dispositivi e sistemi alla rete Internet o ad altre reti di comunicazione. L'obiettivo dell'IoT è consentire a questi oggetti di comunicare tra loro, con altri dispositivi e con gli esseri umani facilitando l'automazione, il monitoraggio e il controllo dei processi. Nel contesto

dell'IoT, gli oggetti vengono dotati di sensori, attuatori e connettività che permettono loro di raccogliere dati dal loro ambiente o interagire con esso, questi dati vengono poi trasmessi attraverso le reti e analizzati, consentendo di ottenere informazioni utili e prendere decisioni basate sui dati raccolti.

Al giorno d'oggi l'IoT risulta essere diffuso praticamente ovunque dalla domotica ai trasporti, dall'agricoltura all'educazione migliorando la nostra vita quotidiana.

Cybersecurity

In un'epoca in cui la tecnologia permea ogni aspetto della nostra vita, dalla comunicazione all'istruzione, dal commercio alla sanità, la sicurezza informatica diventa cruciale per garantire la privacy, la fiducia e il corretto funzionamento di sistemi complessi.

La cybersecurity o sicurezza informatica rappresenta quindi uno strumento di fondamentale importanza per la protezione dei sistemi informatici, delle reti e dei dati da minacce informatiche sempre più sofisticate e dannose. Queste minacce possono variare da accessi non autorizzati, danneggiamento dei dati, furti di identità, fino a vere e proprie violazioni della privacy e attacchi mirati.

L'obiettivo primario della cybersecurity è garantire la sicurezza degli asset digitali, preservando al contempo la confidenzialità, l'integrità e la disponibilità delle informazioni. La confidenzialità assicura che solo le persone autorizzate possano accedere alle informazioni; l'integrità garantisce che i dati non siano alterati in modo non autorizzato e la disponibilità garantisce che le informazioni siano sempre accessibili quando necessario. Per affrontare queste sfide, vengono adottati diversi approcci, uno di essi è la prevenzione, che comprende l'implementazione di meccanismi di sicurezza come firewall, antivirus, controllo degli accessi e cifratura dei dati. Tuttavia, nonostante questi sforzi, gli attacchi possono comunque verificarsi. Di conseguenza, è essenziale avere piani di risposta agli incidenti in atto, che consentano di reagire rapidamente, limitare i danni e ripristinare l'integrità e la funzionalità dei sistemi.

Big Data

Rappresenta uno dei pilastri principali dell'industria 4.0 e rappresenta il processo di raccolta e analisi di un gran numero di dati provenienti da diverse fonti a supporto dei processi industriali.

La raccolta dei dati viene realizzata sulla base di tre concetti: volume in quanto vengono raccolte grandi moli di dati, velocità in quanto i flussi di dati devono essere gestiti in modo

tempestivo e ad una velocità senza precedenti, varietà ovvero i dati che dovranno essere confrontati non saranno tutti dello stesso tipo.

L’obbiettivo principale delle imprese è quello di trasformare i big data in smart data, ovvero informazioni intelligenti utilizzabili dall’azienda, ad esempio, per il miglioramento delle prestazioni produttive dell’impianto. Per questo insieme ai Big data è di fondamentale importanza l’utilizzo dei Big Data Analytics ovvero delle tecniche di analisi che permettono di estrarre informazioni utili dai dati raccolti.

Cloud Computing

Il Cloud Computing, o "computazione in cloud," rappresenta una delle rivoluzioni più significative nel campo dell'informatica e delle tecnologie dell'informazione. Si tratta di un paradigma di erogazione di servizi informatici che ha trasformato la gestione delle risorse digitali e ha rivoluzionato il modo in cui le aziende e gli individui accedono, archiviano e utilizzano dati e applicazioni. L'essenza del Cloud Computing è l'idea di fornire servizi e risorse informatiche tramite Internet, rendendole disponibili in remoto, ovunque ci sia una connessione Internet.

Robotica collaborativa

Si distingue dalla robotica tradizionale per la sua capacità di consentire una stretta interazione e collaborazione tra i robot e gli esseri umani all'interno dello stesso ambiente lavorativo. A differenza dei robot industriali convenzionali, che spesso operano in modo separato dagli operatori umani o richiedono spazi dedicati, i cobot sono progettati per condividere lo spazio e lavorare in collaborazione diretta con le persone. Questa collaborazione può avvenire in modo simultaneo, sinergico e sicuro, permettendo ai robot di assistere, coadiuvare e migliorare le attività umane. La normativa di sicurezza prevede inoltre che al cobot siano applicate limitazioni di forza e velocità e che lunga la sua superficie siano presenti dei sensori (di visione o di contatto) in modo da tutelare gli operatori da possibili urti.

Simulazione

Che verrà affrontata nel capitolo seguente

CAPITOLO 2

LA SIMULAZIONE IN AMBIENTI INDUSTRIALI

Nel contesto attuale, in un mercato sempre più competitivo e in continua evoluzione, l'utilizzo della simulazione si è notevolmente diffuso sia nel settore industriale che in quello dei servizi, diventando uno strumento indispensabile per l'attività manageriale, di gestione e di sviluppo di nuovi prodotti.

L'evoluzione continua dei mercati, infatti, spinge i dirigenti aziendali ad un continuo rinnovamento dei processi così da mantenere alta la competitività. Ciò comporta però la realizzazione di sistemi di produzione sempre più complessi e onerosi così da rispondere in modo tempestivo alle richieste dei clienti, in quanto, ogni ritardo determina una perdita di competitività ed una possibile conseguente uscita dal mercato.

Per questo sempre più aziende si affidano a strumenti simulativi per rispondere in maniera efficiente, efficace e con meno rischi a questi continui cambiamenti del mercato.

La simulazione può essere definita come "il processo di progettazione di un modello di un sistema reale sul quale condurre poi degli esperimenti al fine di comprendere il comportamento del sistema e / o valutare diverse strategie per il suo funzionamento" (5)

La simulazione, quindi, valuta l'efficienza e l'efficacia di diverse strategie operative, layout delle strutture, programmi di pianificazione della produzione e altre variabili chiave attraverso esperimenti virtuali dai quali vengono ricavate informazioni esaustive che consentono agli operatori e ai responsabili della produzione di prendere decisioni informate e ottimizzare le operazioni senza dover eseguire test e modifiche direttamente sul sistema di produzione fisico.

Tuttavia, bisogna sempre ricordare che si trattano di simulazioni della realtà e quindi presentano delle semplificazioni in quanto includono soltanto alcuni fattori che potrebbero avere effetti sul sistema.

2.1 CAMPI DI APPLICAZIONE

La simulazione è uno strumento molto flessibile che può essere utilizzato in molteplici contesti nell'ambito manifatturiero, come ad esempio:

- Progettazione del layout
  la simulazione può essere utilizzata per valutare l'impatto di diverse configurazioni del layout di un impianto sulle prestazioni complessive del sistema. Permettendo di ottimizzare utilizzo dello spazio, lo spazio percorso e l'efficienza produttiva.
- Programmazione della produzione.
  la simulazione permette di valutare diverse politiche di programmazione, tempi di consegna degli ordini, priorità di produzione e altro con lo scopo di ottimizzare la programmazione della produzione.
- Gestione delle risorse
  la simulazione può essere utilizzata per valutare l'impatto di diverse politiche di assegnazione delle risorse, strategie di manutenzione, capacità delle risorse e di altre variabili sulle prestazioni del sistema al fine di analizzare e ottimizzare l'utilizzo delle risorse nel sistema manifatturiero.
- Ottimizzazione della catena di approvvigionamento
  la simulazione può essere utilizzata per valutare diverse strategie di gestione dell'inventario, politiche di riordino, tempi di consegna e altre variabili al fine di individuare quella più adatta per il sistema.
- Analisi del rendimento e del controllo del processo
  la simulazione può essere utilizzata per valutare l'impatto di diverse variabili, come i tempi di setup, le velocità di produzione, le politiche di controllo di processo e le strategie di manutenzione, sulle prestazioni del sistema.

Ovviamente, l'elenco riportato in precedenza non è comprensivo di tutti i possibili campi di applicazione della simulazione, ma racchiude esempi relativi all'area di interesse del presente elaborato.

2.2 VANTAGGI E SVANTAGGI DELLA SIMULAZIONE

L'utilizzo della simulazione in ambito manifatturiero offre una serie di vantaggi:

- Permette di testare nuovi progetti, processi, layout senza impiegare risorse per la loro attuazione.
- Permette di individuare i colli di bottiglia nei processi produttivi e di prendere misure correttive per aumentare l'efficienza e la capacità del sistema.
- Permette di pianificare le risorse, di allocare gli ordini e di programmare la produzione in maniera efficace ottimizzando l'utilizzo delle risorse disponibili e riducendo i tempi di attesa.
- Consente di ridurre notevolmente i costi in quanto permette di valutare gli effetti delle modifiche e degli investimenti prima di attuarli nella realtà.
- Può essere utilizzata per valutare la migliore strategia di manutenzione permettendo così di ridurre i tempi di fermo macchina ma anche di migliorare l'affidabilità dei macchinari.
- Consente di sperimentare situazioni nuove e quindi applicare la "what if analisi".
- Permette di valutare gli effetti di eventi imprevisti o cambiamenti nelle condizioni di mercato sulle operazioni di produzione.

Nonostante la simulazione possieda molti altri punti di forza, presenta al tempo stesso degli svantaggi. Dobbiamo sempre ricordare che la simulazione fornisce soltanto delle indicazioni sul comportamento del sistema e non delle vere e proprie risposte. La creazione di un modello di simulazione non è così semplice, infatti, solitamente viene richiesto l'intervento di personale altamente specializzato per essere realizzato in modo efficiente. Inoltre, la raccolta di dati affidabili da utilizzare come input nel processo di simulazione non è sempre una procedura immediata e spesso necessita di molto tempo. Un ulteriore svantaggio riguarda l'interpretazione dei dati prodotti in output dalla simulazione. Sebbene tali dati siano essenziali per identificare la soluzione ottimale, l'analisi di queste informazioni è tipicamente un processo complesso e che richiede del tempo. Tuttavia, nonostante le sfide, l'impiego di modelli di simulazione risulta essere un approccio fondamentale per ottenere una visione approfondita e precisa delle dinamiche e delle performance in vari contesti evidenziando l'importanza della simulazione come strumento di supporto alle decisioni. (5)

2.3 SCHEMA DELLO STUDIO DI UN PROBLEMA BASATO SULLA SIMULAZIONE

È possibile schematizzare lo studio di un problema basato sulla simulazione in 9 fasi:

1. Analisi del problema
   Consiste nell'identificare e comprendere chiaramente il problema da affrontare definendo gli obbiettivi dello studio e le questioni principali che devono essere risolte.

2. Raccolta dati
   Una volta compreso il problema è possibile iniziare la raccolta dei dati necessari per la simulazione attraverso: rilevazioni, banche dati, generazioni casuali di distribuzioni di probabilità relative alle quantità di interesse, ecc.

3. Formulazione del modello di simulazione
   Consiste nella costruzione del modello di simulazione e riguarda l'individuazione di tutte le componenti del sistema preso in esame e le relazioni che legano tali componenti tra loro con l'obbiettivo di rappresentare in modo completo il sistema utilizzando formule matematiche e logiche relative alle variabili in gioco.

4. Analisi del modello di simulazione
   Viene verificata l'accuratezza del modello solitamente attraverso un'analisi concettuale del modello in collaborazione con gli esperti del settore così da evitare errori e/o omissioni.

5. Scelta del software e costruzione del programma
   La traduzione da modello a programma può essere realizzata attraverso l'utilizzo di diversi strumenti, ciascuno con le proprie caratteristiche:
   Inizialmente, agli esordi della simulazione, venivano ampiamente impiegati i "linguaggi general purpose" come C++ e FORTRAN. Tuttavia, a causa dei lunghi tempi di programmazione richiesti, oggi sono in gran parte dismessi per questa finalità.

Una alternativa consiste nell'utilizzo di "linguaggi di simulazione generali", sebbene meno flessibili rispetto a quelli general purpose, rappresentano spesso il modo più semplice per tradurre un modello di simulazione in un programma funzionante.
Altri strumenti ampiamente utilizzati sono i "simulatori". Questi consentono di sviluppare programmi di simulazione attraverso interfacce grafiche intuitive e menu interattivi, evitando la necessità di scrivere codice. Sono particolarmente indicati per coloro che desiderano realizzare simulazioni senza dover affrontare la complessità della programmazione. Inoltre, molti di essi offrono funzionalità di animazione, semplificando la visualizzazione dei risultati della simulazione, rendendola accessibile anche a coloro che non hanno una specifica competenza nel settore. Tra i numerosi pacchetti software disponibili in questo ambito vi sono ARENA, WITNESS ed EXTEND. Infine, specialmente per problemi di dimensioni ridotte, vengono utilizzati "fogli elettronici" come Excel per ottenere una panoramica basilare del funzionamento del sistema. Tuttavia, va sottolineato che questa soluzione è limitata e appropriata solo per scopi di visualizzazione iniziale, poiché i fogli elettronici non sono progettati per simulazioni complesse.

6. Validazione del modello di simulazione
   In questa fase viene valutata la somiglianza con il sistema reale, cioè, viene verificato che il modello realizzato fornisca risultati validi per il sistema in esame. Questo risulta a volte molto difficile soprattutto in fase di progettazione quando il sistema reale non esiste.

7. Progettazione della simulazione
   Prima di passare all'esecuzione della simulazione è necessario decidere come condurre la simulazione andando a identificare e definire gli scenari di simulazione da esplorare come ad esempio modifiche del sistema, cambiamenti delle condizioni, strategie alternative, ecc.

8. Esecuzione della simulazione e analisi dei risultati
   In questa fase viene eseguita la simulazione del modello costruito rispetto gli scenari scelti ottenendo in output dati che riflettono il comportamento del sistema nel tempo. Tali dati verranno poi analizzati per valutare l'impatto dei diversi scenari sulle prestazioni del sistema o per identificare eventuali problemi o aree di miglioramento.

9. Conclusioni

   Viene redatta una relazione e/o una presentazione che riassuma lo studio effettuato, come è stato condotto, i risultati raggiunti e le conclusioni a cui si è arrivati. (6)

2.4 I MODELLI DI SIMULAZIONE

Alla base di qualsiasi studio simulativo troviamo i modelli di simulazione.

Un modello, come già accennato prima, non è altro che una rappresentazione semplificata di un sistema o fenomeno reale che viene utilizzata per studiare il suo comportamento, analizzare le interazioni tra le sue componenti, confrontare alternative, testare diverse strategie e prevedere gli effetti delle successive decisioni prima di implementarle nel mondo reale.

Questa rappresenta la fase più critica dello studio di un problema basato sulla simulazione poiché la semplificazione della realtà può portare ad ipotesi e assunzioni che possono compromettere la veridicità della soluzione che potrebbe essere una soluzione valida per il sistema modellato ma non per il problema reale.

2.5 ELEMENTI DI UN MODELLO DI SIMULAZIONE

Gli elementi che caratterizzano un modello di simulazione:

1. Variabili di stato

   Sono grandezze numeriche o logiche che descrivono il sistema in ogni istante, variando nel tempo perché caratteristiche di un determinato stato (istante) del sistema. Nei sistemi discreti le variabili cambiano istantaneamente in corrispondenza di precisi istanti di tempo finiti mentre nei sistemi continui queste variabili variano con continuità rispetto al tempo.

2. Eventi

   Un qualsiasi avvenimento istantaneo che fa variare il valore di almeno una delle variabili di stato viene definito evento come, ad esempio, il completamento di una

lavorazione. Esistono eventi esterni al sistema (esogeni) ed eventi interni (endogeni).

3. Entità e Attributi
   Sono dei singoli elementi del sistema che devono essere definiti come ad esempio materie prime, informazioni, utenti in coda o un servente. Possono essere di due tipi dinamiche o statiche a seconda del loro movimento all'interno del sistema. Solitamente le entità sono caratterizzate da attributi ovvero dati assegnati all'entità stessa come, ad esempio, nel caso di un utente in coda il suo tempo di arrivo nel sistema. Questi attributi possono essere utilizzati per raggruppare le entità in classi.

4. Code
   Sono un insieme di entità che si trovano in attesa in quanto non possono accedere all'operazione successiva in quanto la risorsa o macchina risulta occupata.

5. Risorse
   Le risorse sono elementi del sistema che forniscono un servizio alle entità. Una singola entità, infatti, può richiedere una o più risorse e se queste non risultano disponibili l'entità dovrà attendere in coda. Esempio tipico di risorsa sono le macchine.

6. Attività e ritardi
   Attività: operazione la cui durata è nota a priori e può essere rappresentata da una costante, un valore aleatorio generato da una distribuzione di probabilità oppure data in input.
   Ritardo: arco di tempo di durata sconosciuta determinato dalle condizioni stesse del sistema. (6)

2.6 CLASSIFICAZIONE DEI MODELLI

I modelli di simulazione possono essere classificati sulla base di diversi criteri. Una prima classificazione, accennata già nei paragrafi precedenti, è sicuramente quella tra modelli continui e discreti che si differenziano per il modo in cui il sistema evolve. Nei modelli a tempo continuo il valore delle variabili varia con continuità mentre in quelli discreti lo stato

del sistema cambia in istanti di tempo ben definiti. Un'altra distinzione è tra modelli statici e dinamici che si distinguono per il ruolo assunto dalle variabili di stato nel tempo. I modelli statici rappresentano il sistema in un particolare istante di tempo e quindi le variabili hanno un valore costante mentre i modelli dinamici rappresentano un sistema in continua evoluzione nel tempo quindi il tempo viene espresso come variabile esplicita. Un'ultima distinzione è tra modelli stocastici e deterministici. I primi contengono valori aleatori che possono portare a differenti risultati, i secondi invece non contengono componenti probabilistiche quindi la previsione fornisce in output valori numerici senza dare nessuna distribuzione di probabilità di quel dato. (6)

2.7 SIMULAZIONE AD EVENTI DISCRETI

Si parla di simulazione ad eventi discreti quando si fa riferimento a modelli discreti, dinamici, stocastici che rappresentano il sistema nella sua evoluzione temporale con il valore delle variabili che cambia in istanti di tempo ben definiti appartenenti ad un insieme numerabile. Questi istanti sono quelli in cui si verificano gli eventi. Essendo questi modelli di natura dinamica è necessario definire un meccanismo di avanzamento del tempo per far procedere il tempo simulato da un istante ad un altro. Il "Simulation Clock" definisce il valore corrente del tempo simulato ed esistono per la simulazione ad eventi discreti 2 modi per definire il suo avanzamento:

- Avanzamento del tempo al prossimo evento
- Avanzamento del tempo ad incrementi prefissati

Il primo è sicuramente quello più diffuso in cui l'avanzamento del tempo viene scandito tra un evento e l'altro mentre nel secondo si ha lo scorrimento del tempo secondo intervalli di tempo prefissati e standard.

La simulazione ad eventi discreti fornisce quindi una fotografia degli istanti salienti dell'evoluzione dello stato ed è la principale caratteristica che la distingue dalla simulazione dinamica (SD).

Esempio di simulazione ad eventi discreti

Consideriamo a tale scopo un sistema a coda costituito da una coda e da un singolo servente e supponiamo che i tempi di interarrivo siano uniformemente distribuiti tra 1 e 3 minuti e che anche i tempi di servizio siano uniformemente distribuiti tra 0.5 e 2 minuti. Vediamo, ora, come si può effettuare una simulazione di questo sistema. Poiché si tratta di un sistema regolato da due processi stocastici (gli arrivi e i servizi) per generare gli eventi è necessario generare osservazioni casuali dalle due distribuzioni di probabilità che regolano i due processi.

Supponiamo di avere a disposizione le due liste che forniscono, rispettivamente i tempi di interarrivo generati casualmente dalla distribuzione corrispondente e i tempi di servizio anch'essi generati casualmente dalla distribuzione corrispondente:

Tempi di interarrivo	*Tempi di servizio*
1.9	1.7
1.3	1.8
1.1	1.5
1.0	0.9
⋮	⋮

Figura 5 Simulazione (www.diag.uniroma1.it)

Supponendo che al tempo t = 0 nessun utente `e presente nel sistema. Osservando i valori campionati riportati nelle due liste, si ricava facilmente la successione degli eventi:

Tempo t	*Eventi*
1.9	arriva un utente inizia il servizio
3.2	arriva un utente e si pone in coda
3.6	finisce un servizio e il primo utente in coda inizia il servizio
4.3	arriva un utente e si pone in coda
5.3	arriva un utente e si pone in coda
5.4	finisce un servizio e il primo utente in coda inizia il servizio
⋮	⋮

Figura 6 Simulazione (www.diag.uniroma1.it)

Limitando questa semplice simulazione al tempo t = 5.4 (in modo che due utenti sono entrati e hanno completato il servizio), possiamo calcolare, ad esempio, il tempo medio di permanenza nel sistema: il primo utente rimane nel sistema 1.7 minuti, il secondo 2.2 minuti e quindi il valore medio `e 1.95. Questa stima ovviamente non ha alcun senso perché

ottenuta dalla particolare sequenza di numeri casuali delle due liste. Quindi, se l'esempio da un lato vuole mettere evidenza il meccanismo di una simulazione ad eventi discreti, dall'altro mette fin d'ora in evidenza un errore che si potrebbe commettere nel reputare affidabili i risultati di una sola esecuzione e che ha avuto una durata arbitraria. D'altra parte, c'è anche da tener presente che, se siamo interessati a valutare misure di prestazioni del sistema a regime, ovvero quando sono state raggiunte condizioni di stazionarietà, sarà necessario non prendere in considerazione il sistema durante il periodo iniziale di transitorio. Queste problematiche rappresentano un elemento chiave di ogni simulazione e saranno considerate in dettaglio nel seguito.

Esempio tratto da: "Simulazione", Cap.2, Materiale didattico (Parte H), Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale, Corso di Sistemi di servizio e Simulazione, Anno Accademico 2012-2013.

2.8 SYSTEM DYNAMICS

la System Dynamics anche indicata con l'abbreviazione SD studia sostanzialmente sistemi complessi dinamici che evolvono nel tempo in maniera continua. Nonostante i moltissimi campi di applicazione, la modellazione dei sistemi in SD risulta ancora poco diffusa rispetto agli altri metodi. (102)

la System Dynamics fornisce una prospettiva nuova allo studio e all'analisi dei sistemi e dei processi continui focalizzandosi su quello che è il comportamento del sistema nel suo complesso e non su quelli che sono i singoli oggetti e le singole entità che definiscono un sistema. È proprio questa caratteristica che rende efficace la SD in decisioni di tipo strategico dove è necessario avere una visione generale della dinamica del sistema.

2.9 SYSTEM DYNAMICS VS DESCRET EVENT SIMULATION

La SD e la DES costituiscono le tecniche di simulazione più diffuse ed utilizzate come strumento di supporto alle decisioni.

Greasley (102) afferma che nonostante esistano delle sostanziali distinzioni tra le due tecniche, in termini di approccio alla modellazione entrambe vengono utilizzate per capire come un sistema evolve nel tempo.

La metodologia System Dynamics viene applicata per studiare i legami causali del problema in esame ed è incentrata su quella che è l'analisi del sistema invece la Descret Event Simulation è focalizzata alla modellazione di un particolare processo e non sull'intero sistema.

Greasley propone anche una tabella che elenca le caratteristiche delle due tecniche e ne riassume le differenze. (6)

FATTORE	SYSTEM DYNAMICS	DISCRETE EVENT SIMULATION
Obbiettivo	Investigare il modello di comportamento di un sistema	Investigare le performance operative dei processi
Determinazione dei comportamenti	Il comportamento dei sistemi è determinato da strutture di feedback e accumulazione	Il comportamento dei sistemi è determinato dalla natura stocastica e dall'interdipendenza dei processi
Unicità del problema	Il problema è riferito a un comportamento ricorrente in tutto il sistema	Il problema è unico
Livello di implementazione	Solitamente a un livello manageriale e strategico	Solitamente ad un livello operativo e tattico
Scala temporale di analisi	Da giorni a mesi ad anni	Da minuti a giorni
Presentazione dei risultati	Statistiche che mostrano il comportamento del sistema e grafici che mostrano il comportamento e i feedback loop	Statistiche che riportano le performance delle operazioni, incluso il percorso dei singoli elementi
Livello di aggregazione	I singoli elementi sono aggregati nei livelli	Ogni singolo elemento può essere modellato
Dimensioni del modello	piccolo	Da medio a grande
Modello concettuale	Diagrammi di influenza	Mappa dei processi

Tabella 1 confronto System Dynamics e Discrete event Simulation

CAPITOLO 3

IL SOFTWARE DI SIMULAZIONE ANYLOGIC

AnyLogic è un software di simulazione multi-metodo che aiuta i professionisti a ottenere una conoscenza più approfondita dei processi e a ottimizzarli. Si tratta di uno strumento versatile applicabile a diversi settori come produzione discreta, assemblaggio, trasporto, infrastrutture, logistica, gestione ferroviaria e stradale, difesa, nonché ai processi aziendali.

AnyLogic è stato sviluppato dalla TheAnyLogic Company, una multinazionale del software con sede negli Stati Uniti, in seguito al grande successo di COVERS, un software sviluppato dal gruppo di ricerca Distributed Computer Network (DNC) presso l'Università di San Pietroburgo negli anni '90, a seguito del crescente interesse per l'approccio matematico alla modellazione e simulazione dei processi paralleli. COVERS, acronimo di COncurrent VERification and SImulation, veniva utilizzato per la verifica e la simulazione dei programmi, nonché per modellare le strutture e i componenti dei sistemi mediante una notazione grafica.

L'enorme successo ottenuto da COVERS portò nel 1998 il gruppo di ricerca Distributed Computer Network a creare una società, con l'obiettivo di sviluppare un software di simulazione di nuova generazione. La priorità era lo sviluppo dei metodi applicativi come la simulazione, l'analisi delle prestazioni, l'ottimizzazione e la visualizzazione.

AnyLogic è stato distribuito per la prima volta nel 2000 e conteneva gli strumenti informatici più avanzati del periodo, tra cui il linguaggio di programmazione Java. La prima versione rilasciata è stata AnyLogic 4, il cui numero di versione proseguiva da dove si era interrotto il precedente software COVERS, fermo alla versione 3. Un grande passo in avanti è stato fatto nel 2003 con l'uscita di AnyLogic 5, che ha esteso la simulazione a numerosi campi diversi: dalla sanità alla difesa, dall'aereospaziale al fotovoltaico. Nel 2007 è stata rilasciata AnyLogic 6, dotata di un motore notevolmente potenziato, tanto che i modelli giravano da 5 a 20 volte più velocemente. Successivamente, nel 2014, si è passati alla versione AnyLogic 7, che ha introdotto Eclipse come ambiente di sviluppo integrato.

Oggi, l'ultima versione disponibile del software è AnyLogic 8.8, che si avvale di Java 11. AnyLogic è anche un software di simulazione cross-platform, compatibile con i principali sistemi operativi come Windows, macOS e Linux. Ciò permette una perfetta condivisibilità dei progetti tra modellisti, anche se operano su sistemi operativi diversi.

3.1 APPROCCIO MULTI-METODO ALLA MODELLAZIONE

Il software AnyLogic (traducibile in “ogni logica”) è stato chiamato così in quanto supporta tutti e tre i principali paradigmi di modellazione con la possibilità di poterli combinare all’interno di uno stesso modello.

- System Dynamics (SD)

  Costituisce uno degli approcci di simulazione più antichi ed opera ad un livello di astrazione molto elevato. Viene utilizzato principalmente nella modellazione strategica a lungo termine in quanto permette di realizzare una rappresentazione generale del sistema complesso e di comprendere le relazioni che esistono internamente, principalmente per i processi continui.

- Discrete Event Simulation (DES)

  Si tratta della modellazione più diffusa al mondo, infatti, circa il 50% dei casi in cui si utilizza la simulazione vengono implementati modelli ad eventi discreti. Questo tipo di approccio ha un livello di astrazione medio-basso e riguarda tutti quei sistemi che possono essere considerati come un processo, cioè una sequenza di operazioni eseguite tra entità, come ad esempio un processo aziendale. La modellazione della simulazione ad eventi discreti è principalmente utilizzata nei settori della produzione, logistica e della sanità.

- Agent Based (AB)

  Fino a poco tempo fa questo tipo di modellazione era pura ricerca accademica e solo recentemente si è trasformata in un approccio di simulazione applicata, questo a causa della crescente necessità di ottimizzazione del mercato globale. Al centro di questo tipo di modellazione c’è il concetto di agente, ovvero entità attive che potrebbero essere persone, prodotti, aziende o apparecchiature. È proprio la generalità di questo concetto che permette a questa tipologia di modellazione di operare su tutti i livelli di astrazione dal più basso, in cui gli agenti sono oggetti fisici, al più alto, dove gli agenti sono progetti, risorse o imprese. Questo tipo di approccio come la DES è adatto alla modellazione ad eventi discreti ma in questo caso il sistema viene descritto come insieme di agenti collegati tra loro ognuno dotato di un proprio comportamento, che insieme vanno a definire il comportamento del sistema.

Tuttavia, la crescente complessità dei processi ha reso l'approccio misto il metodo di modellazione più adeguato a rappresentare fedelmente la realtà. AnyLogic permette al modellatore, infatti, di combinare questi approcci all'interno di uno stesso modello così da avere un ambiente di simulazione molto più dinamico con vari livelli di complessità, in grado di rappresentare più fedelmente la realtà rispetto l'utilizzo di un unico approccio. Si può ad esempio simulare un sistema di spedizione in cui i vettori sono modellati come agenti, che agiscono e reagiscono in modo indipendente, mentre il funzionamento delle reti di trasporto e delle infrastrutture attraverso la modellazione ad eventi discreti.

3.1.1 VANTAGGI DELLA MODELLAZIONE MULTIMETODO

I sistemi reali sono molto complessi in quanto al loro interno troviamo elementi di varia natura quindi senza un approccio multi-metodo, sarebbe difficile modellarli con il livello di astrazione adeguato. Questo perché all'interno di un sistema interagiscono parti diverse tra loro ed è giusto che ognuna di essa vada modellata con lo strumento più adatto.

L'obiettivo di una modellazione efficiente è quello di creare un modello il più vicino possibile alla realtà, ciò può essere ottenuto solo considerando la complessità reale dei sistemi e descrivendo il comportamento di ciascuna loro parte nel modo più reale possibile.

Un approccio a singolo metodo rappresenta un limite significativo nella rappresentazione dei sistemi reali, poiché alcuni elementi dovranno essere esclusi o sarà necessario trovare un'alternativa per modellarli in modo realistico.

In sostanza, l'approccio multi-metodo offre la flessibilità di modellare sistemi più o meno complessi con diversi livelli di astrazione utilizzando un singolo modello.



Figura 7 modellazione multi-metodo (www.anylogic.com)

Questo è un esempio di modellazione multi-metodo preso dal sito di AnyLogic dove produzione, distribuzione e lato commerciale vengono combinati in un unico modello utilizzando tecniche diverse. I magazzini vengono descritti con un metodo ad eventi discreti ma contemporaneamente compaiono come agenti nella rete di distribuzione, mentre il mercato, che guida il sistema, è modellato attraverso la System Dynamics.

Appare chiaro quindi che il principale vantaggio dell'utilizzo di un approccio multi-metodo è l'efficienza, in quanto con questo tipo di modellazione ciascun componente del sistema reale può essere modellato con l'approccio più adatto senza venir mai limitati dall'utilizzo di un unico metodo. Questo permette di ridurre lo scostamento dalla realtà e di garantire di conseguenza elevate performance.

3.2 IL LINGUAGGIO DI SIMULAZIONE DI ANYLOGIC

Esistono 2 modalità di programmazione in AnyLogic: utilizzando un linguaggio di modellazione grafica o scrivendo codice in java.

La programmazione attraverso linguaggio di modellazione grafica può essere realizzata attraverso l'utilizzo dei seguenti elementi:

- Diagrammi di scorte e flussi: usati nella modellazione System Dynamics
- Diagrammi di stato (statecharts): vengono utilizzati nella modellazione Agent-based per definire il comportamento dell'agente o anche nella modellazione ad eventi discreti, ad esempio, per simulare lo stato di una macchina.
- Diagrammi di azione (Action Charts): possono essere utilizzati sia nella modellazione ad eventi discreti che in quella Agent-Based e vengono usati per la definizione degli algoritmi
- Diagrammi di flusso di processo (Process Flowcharts): vengono utilizzati nella modellazione ad eventi discreti per la rappresentazione degli elementi costituenti il processo.

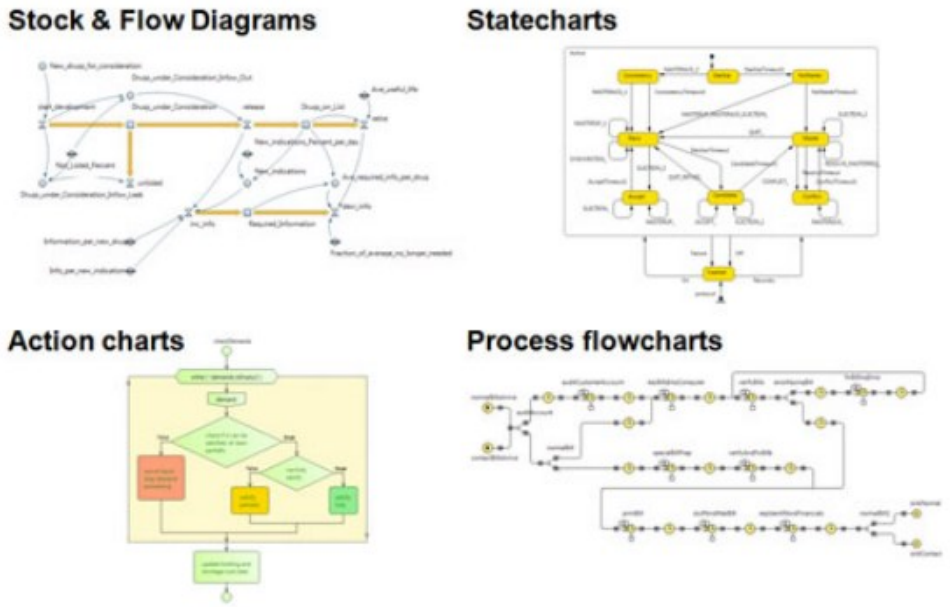


Figura 8 Linguaggio di simulazione di AnyLogic (it.m.wikipedia.org/wiki/AnyLogic)

Il linguaggio comprende inoltre: gli elementi base di modellazione come variabili, parametri e tutti quegli elementi di più basso livello; gli elementi grafici come linee, ellissi, ovali ecc.; le strutture di analisi (dataset, istogrammi, plot); gli strumenti di connettività e le immagini standard.

Il secondo metodo di programmazione in AnyLogic si basa sull'utilizzo del linguaggio java. Esso rappresenta il linguaggio di programmazione più diffuso al mondo e di conseguenza quello prediletto dai modellatori. Le applicazioni java sono utilizzate principalmente come strumento software di supporto alle decisioni.

Le principali caratteristiche di questo linguaggio includono una sintassi semplice e simile a quella del C++, l'assenza di necessità di pagare licenze per scrivere il codice in quanto può essere scritto un blocco note, l'essere un linguaggio di alto livello che consente anche ai meno esperti di creare applicazioni molto complesse. Inoltre, la scrittura del programma in java non è vincolata alla piattaforma a cui è destinato, grazie all'indipendenza resa possibile dalla Java Virtual Machine (JVM), un software che funge da interprete per le applicazioni Java. Java, inoltre, promuove la programmazione orientata agli oggetti, e i paradigmi di questa programmazione sono chiari e comprensibili poiché Java è un linguaggio di programmazione orientato agli oggetti molto strutturato e schematico.

3.3 LIBRERIE DI ANYLOGIC

AnyLogic al suo interno include le seguenti librerie standard:

La Process Modeling Library permette di modellare, a un livello di dettaglio elevato, operazioni di logistica, sanità, produzione e altri processi e servizi di natura dinamica. Questo tipo di libreria semplifica la simulazione del flusso di lavoro aziendale e consente agli utenti di comprendere le dinamiche di processo e le interdipendenze tra i vari componenti del sistema, permettendo di ottenere anche informazioni sul processo decisionale. La Process Modeling Library permette quindi agli utenti di modellare i sistemi reali in termini di processi (sequenze di operazioni, code, ritardi ecc.), entità che attraversano il flusso del processo (transazioni, clienti, prodotti) e risorse che le entità utilizzano all'interno del processo oggetto di studio.

La Pedestrian Library è uno strumento di simulazione pedonale e di analisi della folla che consente agli utenti di modellare, visualizzare e analizzare accuratamente il comportamento dei flussi di folla in un ambiente fisico ed eliminare le sue possibili inefficienze (problemi legati alla capacità, mobilità, e accessibilità). Tale libreria viene utilizzata principalmente per simulare le dinamiche pedonali in paesaggi urbani, eventi all'aperto, centri commerciali, terminal ferroviari o aereoportuali con lo scopo di valutare la capacità di una struttura di far fronte ad un carico pianificato e di rispettare i requisiti di sicurezza. All'interno di un modello costruito con questa libreria i pedoni si muovono in uno spazio continuo secondo regole fisiche simulate e reagendo ai diversi tipi di ostacoli (muri, scale e anche i pedoni stessi). La Pedestrian Library rappresenta un'interfaccia di alto livello per la creazione rapida di modelli di pedoni attraverso diagrammi di flusso.

La Road Traffic Library offre agli utenti la possibilità di pianificare, progettare e simulare in maniera dettagliata i flussi del traffico stradale. Questa libreria è ideale per la modellazione esplicita del comportamento di ciascun guidatore e per rappresentare le dinamiche del flusso di trasporto. Gli algoritmi presenti nella libreria tengono conto delle tipiche regole di guida come il controllo della velocità e la prevenzione delle collisioni. Allo stesso tempo però ogni veicolo rappresenta un agente che può avere propri parametri fisici e modelli di comportamento. Inoltre, questo tipo di libreria dà la possibilità di creare modelli in 2D e 3D del sistema oggetto di studio.

La Rail Yard Library consente agli utenti di modellare, simulare e visualizzare in modo efficiente le operazioni degli scali ferroviari e del trasporto ferroviario di qualsiasi

complessità e dimensione. Questa libreria consente quindi di modellare scali ferroviari di grandi impianti, stazioni ferroviarie, impianti di riparazione, stazioni della metropolitana, ecc. In questi modelli i treni si muovono secondo la logica impostata in un diagramma di flusso, mentre ogni vagone e locomotiva sono agenti con i propri stati e proprietà.

La Fluid Library consente agli utenti di simulare il trasporto e lo stoccaggio di materiali sfusi, gas e fluidi, inclusa la modellazione delle operazioni di pipeline, processi minerari e produzione e trasporto di gas e carburante. Per simulare in maniera precisa il comportamento dei flussi, la Fluid Library, utilizza la simulazione a velocità discreta rendendo il processo di modellazione più trasparente e consentendo agli utenti di tenere traccia delle modifiche del flusso così da trovare possibili colli di bottiglia o tempi di inattività e ottimizzare i processi.

La Material Handling Library può essere utilizzata per progettare modelli dettagliati di impianti di produzione e stoccaggio e per gestire i flussi di lavoro dei materiali. L'utilizzo di questo toolkit può aiutare a testare ed ottimizzare le politiche di produzione, di trasporto e di inventario, oltre a ridurre possibili errori e ritardi nel flusso di materiale in fabbrica. La libreria per la movimentazione dei materiali fornisce quindi agli utenti una serie di funzionalità con le quali possono ad esempio:

- valutare le alternative di layout e scegliere quella che ne migliora le prestazioni.
- analizzare il design e le prestazioni della linea di produzione e testare la possibilità di accelerare la produzione.
- Assegnare le risorse, tra cui personale e attrezzature, in modo tale da evitare colli di bottiglia
- Prevedere il comportamento del sistema e fornire un'analisi dei costi
- Gestire gli AGV e simulare la loro interazione con il sistema

Queste elencate sono le 6 librerie standard fornite da AnyLogic. Tuttavia, ogni utente è libero di crearne delle proprie e di distribuirle. (7) (8) (9)

3.4 VANTAGGI NEL SIMULARE I PROCESSI CON ANYLOGIC

AnyLogic offre una serie di vantaggi significativi che contribuiscono a migliorare il processo decisionale e l'efficienza operativa. Tra i principali punti di forza si hanno le seguenti caratteristiche.

Promuove un processo decisionale più intelligente, consentendo l'analisi e l'ottimizzazione di diverse alternative di processo.

Permette di effettuare test ed esplorazioni in ambienti privi di rischi, fornendo un'opportunità preziosa per comprendere le implicazioni dei processi simulati senza alcun impatto nel mondo reale.

Riduce notevolmente i costi e garantisce un risparmio di tempo nel mondo reale, evitando la necessità di sperimentare fisicamente le modifiche ai processi.

Fornisce concetti e idee in modo più efficiente ed intuitivo, semplificando la comunicazione e la comprensione di concetti complessi attraverso la simulazione visiva.

Fornisce informazioni dettagliate sulla complessa dinamica dei sistemi, consentendo una comprensione più approfondita delle interazioni e delle variabili coinvolte.

Accresce l'accuratezza e la chiarezza nei dati e nei processi, facilitando una simulazione precisa e affidabile.

Minimizza le incertezze e riduce i rischi, permettendo di testare e valutare diverse strategie in modo virtuale prima di implementarle nel mondo reale.

Ottimizza i processi e i risultati della pianificazione attraverso simulazioni dettagliate e analisi approfondite, aiutando a prendere decisioni più informate.

Garantisce la qualità dei processi, dei prodotti e dei servizi, permettendo di identificare e correggere eventuali problematiche in anticipo.

Riduce l'inefficienza e i tempi di commercializzazione, migliorando l'efficienza complessiva delle operazioni aziendali e accelerando l'introduzione sul mercato.

CAPITOLO 4

CASO DI STUDIO

In questo capitolo verrà costruito il modello di un ipotetico processo di assemblaggio e inscatolamento del prodotto sette mix realizzato dalla DMP Electronics.

4.1 L'AZIENDA



Figura 9 www.dmpelectronics.com

La DMP Electronics rappresenta un'eccellenza italiana nel settore tecnologico, conosciuta per aver rivoluzionato il mondo dei rubinetti attraverso l'innovazione elettronica. Fondata con la missione di coniugare tecnologia avanzata, sostenibilità e praticità, l'azienda rappresenta uno dei principali produttori di elementi da bagno elettronici a livello internazionale, offrendo soluzioni all'avanguardia che migliorano l'efficienza idrica. Uno dei valori cardine della DPM Electronics è l'impegno per l'ambiente. L'azienda è fortemente consapevole dell'importanza di preservare le risorse naturali e di ridurre l'impatto ambientale, infatti, tutti i prodotti sviluppati dall'azienda integrano sistemi intelligenti che minimizzano lo spreco d'acqua promuovendone un utilizzo sostenibile. Inoltre, l'impresa adotta pratiche aziendali ecosostenibili così da ridurre l'impatto delle proprie attività produttive e logistiche. La DPM Electronics è riuscita, inoltre, nell'ultimo anno a ottenere fondi dallo stato per sostenere il progetto "Prodotti e Tecnologie per il living bagno del futuro" che ha come obbiettivo quello di andare a sviluppare nuove tecnologie intelligenti per il bagno. (10)

4.2 IL PRODOTTO


Figura 10 (www.dmpelectronics.com)

il prodotto in questione è il rubinetto elettronico sette-mix, dotato di un sensore ad infrarossi DMP con bobina integrata, caratterizzato da un raggio d'azione regolabile tra i 5 e i 30 cm. All'interno troviamo anche un microchip intelligente programmato per il perfetto controllo delle funzioni, ottimizzate tramite software integrato DMP. Il prodotto presenta un corpo in ottone cromato lucido con miscelatore incorporato e un sistema automatico antiallagamento dopo 90 secondi. (11)

4.3 IL PROCESSO

Il processo preso in considerazione per il prodotto sette-mix è composto da due macro-fasi ognuna servita da un operatore.

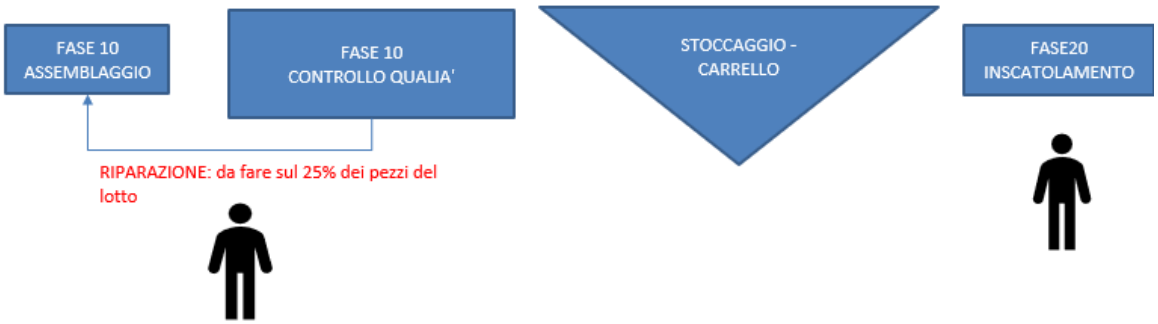


Figura 11 rappresentazione grafica processo del rubinetto sette-mix

4.3.1 FASE F10

ASSEMBLAGGIO

Di seguito sono riportati i tempi medi per ogni operazione del processo di assemblaggio

Fase F10 - assemblaggio	Tempo [s]	Sotto azione	Tempo [s]
Inserimento ordine di lavoro (sparare codice a barre): 10 secondi per lotto da 20 pezzi	0.5		
Prelievo pezzo dal carrello e spostamento sulla linea	3		
Soffiaggio pezzo	4		
Apposizione aeratore (per pezzo)	10		
Inserimento circuito e ferma circuito (per pezzo)	18		
Inserimento miscelatore e manopola (per pezzo)	27.5		
		prelievo gruppo miscelatore	5,5
		prelievo viti (10 s per 20 pezzi circa)	0,5
		prelievo manopole (10 s per 20 pezzi circa)	0,5
		inserimento gruppo in corpo miscelatore	4
		inserimento vite	5
		inserimento manopola e fissaggio con vite e rondella	12

Tabella 2 tempi di processo dell'assemblaggio

La fase di assemblaggio inizia con l'inserimento dell'ordine di lavoro nel sistema attraverso la scansione del codice a barre per ciascun prodotto, dopodiché l'operatore procede al prelievo del pezzo da un carrello e al suo posizionamento sulla linea, andando a costituire l'unita di base sulla quale verranno effettuate le successive operazioni di assemblaggio come il soffiaggio del pezzo, l'apposizione dell'aeratore, l'inserimento del circuito e l'inserimento del gruppo miscelatore e della manopola. L'intero processo di montaggio viene realizzato in un tempo medio per pezzo di 63 secondi, quasi la metà dei quali vengono trascorsi in media nell'ultima fase.

CONTROLLO QUALITÀ

Di seguito sono riportati i tempi medi per ogni operazione del processo di controllo qualità

Fase F10 - controllo qualità	**Tempo [s]**	**Sottoazione**	**Tempo [s]**
Prova controllo qualità di tenuta idraulica	97,75		
		preparazione etichette e bollini rosso/blu (15 s per 20 pezzi circa)	0,75
		installazione rubinetto su banco di prova	10
		prova alta pressione	20
		prova bassa pressione	20
		ripulitura rubinetto con aria (da montato sul banco di prova)	15
		soffiatura con aria (dopo aver rimosso rubinetto dal banco di prova)	15
		segnalazione pezzo conforme	2
		inserimento bollino rosso/blu	3
		inserimento etichetta	5
		deposito su carrello (per due pezzi)	7

Tabella 3 tempi di processo di controllo qualità

Il processo di controllo qualità comincia con la preparazione di etichette e bollini rossi/blu, con un tempo stimato di 15 secondi per circa 20 pezzi. Successivamente, il rubinetto viene installato sul banco prova per essere sottoposto a rigorosi test di pressione, sia ad alta che a bassa pressione, per verificare il rispetto dei requisiti minimi prefissati. Dopodiché il rubinetto viene attentamente ripulito e soffiato con aria. Qualora il pezzo soddisfi i requisiti minimi prefissati, viene contrassegnato come conforme e riceve sia il bollino rosso/blu che l'etichetta, per poi essere depositato a coppie su un carrello. Nel caso di conformità del pezzo, il tempo medio richiesto per l'esecuzione di tutte le operazioni necessarie è di 97.75 secondi. Qualora invece il pezzo risulti essere non conforme il tempo richiesto per l'intera

operazione aumenta di molto in quanto i pezzi dovranno essere rilavorati. La probabilità che un pezzo non rispetti le specifiche imposte e che quindi debba essere rilavorato è del 25%.

FASE F10 - Rilavorazione	**Tempo [s]**
preparazione etichette e bollini rosso/blu (15 s per 20 pezzi circa)	0,75
installazione rubinetto su banco di prova	10
prova alta pressione	20
prova bassa pressione	20
ripulitura rubinetto con aria (da montato sul banco di prova)	15
soffiatura con aria (dopo aver rimosso rubinetto dal banco di prova)	15
smontaggio	18
asciugatura	8
controllo componenti	10
riparazione	40
SI RIPARTE DAL PUNTO 4	27,5
SI RIPETE IL CONTROLLO QUALITA'	97,75

Tabella 4 tempi del processo di rilavorazione

Quindi una volta ripulito e soffiato con aria, il pezzo non conforme viene messo in attesa fino a quando l'intero lotto non viene testato. In sostanza, la rilavorazione dei pezzi non conformi avviene solo dopo che tutti i pezzi sono stati testati sul banco prova. La procedura di rilavorazione inizia con lo smontaggio del pezzo e la separazione dei vari componenti, i quali verranno poi controllati, riparati e rispediti all'operazione di inserimento del gruppo miscelatore e della manopola, per poi ripetere il processo di controllo qualità. Per questo tipo di pezzi saranno necessari in media 156.75 secondi per svolgere tutte le operazioni di controllo qualità e di rilavorazione.

4.3.2 FASE F20

Di seguito sono riportati i tempi medi per ogni operazione del processo di inscatolamento

Fase F20 - inscatolamento	Tempo [s]
Inserimento ordine di lavoro (sparare codice a barre: 10 s per il lotto di 20 pezzi)	0,5
Prelievo istruzioni per 5 scatole: 3 s per fare 5 scatole	0,6
Preparazione certificato di garanzia per 5 scatole: 10 s per fare 5 scatole	2
Inserimento certificato di garanzia in bustine	10
Applicazione codice di garanzia sulle scatole: 20 s per fare 5 scatole	4
Applicazione codice di garanzia su trasformatore (tutte le 5 del lotto): 12 s per fare 5 scatole	2,4
Apertura scatole (tutte le 5 del lotto): 5 s per fare 5 scatole	1
Inserimento trasformatore in scatola	6
Prelievo rubinetti da carrello della fase precedente	3,5
Collegamento circuito del rubinetto con cavo (che all'atto dell'installazione va collegato al trasformatore)	4
Legatura cavo con elastico	7
Pulizia rubinetto con alcool	20
applicazione bollino controllo qualità	2
Inserimento rubinetto in bustina di plastica	3
Inserimento bustina con rubinetto nella scatola	5
Piegatura cartoncino e inserimento in scatola (sopra al rubinetto)	7
Inserimento fogli istruzioni per spurgo	2
Inserimento certificato di garanzia nella scatola	2
Inserimento norme pulizia	2
Chiusura scatola	3
Deposito scatole (tutte le 5 del lotto) su carrello per magazziniere: 5 s per le 5 scatole	1
Registrazione fine lavorazione: 10 s per le 5 scatole	2
Scrittura anche su ordine di lavoro: 5 s per le 5 scatole	1

Tabella 5 tempi di processo della fase di inscatolamento

Il processo inizia con l'inserimento dell'ordine di lavoro tramite la scansione del codice a barre, richiedendo circa 10 secondi per un lotto da 20 pezzi. Successivamente, vengono eseguite una serie di operazioni a gruppi di cinque alla volta, che comprendono il prelievo di istruzioni, la preparazione del certificato di garanzia, l'inserimento del certificato di garanzia e l'applicazione del codice di garanzia sulle scatole e sul trasformatore. Dopo questa fase, il trasformatore viene inserito in una scatola e un rubinetto viene prelevato dal carrello della fase precedente. Si passa poi al collegamento del circuito del rubinetto al cavo, il quale nel momento dell'installazione deve essere collegato al trasformatore. il cavo viene quindi legato con un elastico e si esegue la pulizia del rubinetto con l'alcool. Segue l'applicazione del bollino di controllo qualità e l'inserimento del rubinetto in una bustina di plastica che viene a sua volta inserita nella scatola precedentemente aperta. Un cartoncino

viene poi piegato e inserito sopra il rubinetto nella scatola, insieme ai fogli di istruzioni per lo spurgo, il certificato di garanzia e le norme di pulizia. La scatola viene quindi chiusa e depositata su un carrello per il magazziniere, a gruppi di 5 alla volta. Per finire, si registra la fine della lavorazione e si aggiorna l'ordine di lavoro.

4.4 IL MODELLO

Per la modellazione del processo di assemblaggio e inscatolamento del rubinetto sette-mix ho utilizzato una serie di blocchi appartenenti alla Process Modeling Library, una libreria utilizzata per modellare sistemi reali in termini di processi, entità che attraversano il flusso del processo e risorse che le entità utilizzano per eseguire un'azione ed influenzare il processo.

4.4.1 RISORSE

Per prima cosa, subito dopo la creazione del modello, ho definito le risorse. All'interno del processo ci sono infatti due operatori che si occupano dello svolgimento delle operazioni, uno per ogni fase, che vanno a costituire le risorse del nostro sistema. Per modellare ognuno di essi ho utilizzato un blocco *ResourcePool*.

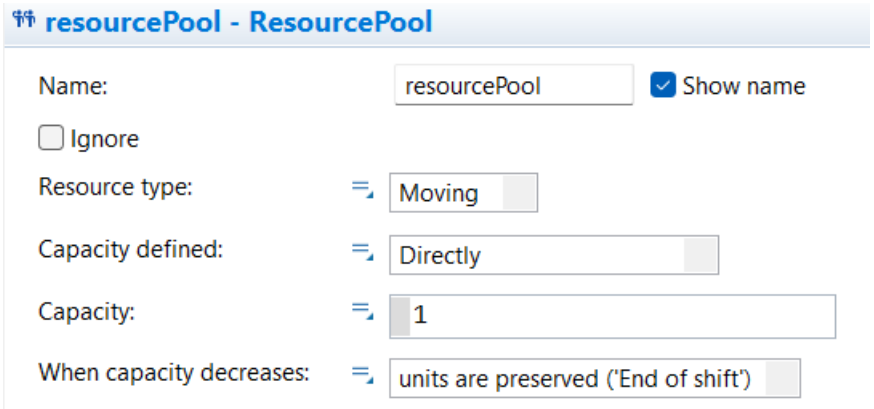


Figura 12 Blocco ResourcePool

Tale blocco viene utilizzato per definire un set di unità di risorse che possono essere prelevate o rilasciate attraverso blocchi Seize, Release, Assembler e Service. Per la modellazione degli operatori ho optato per delle risorse di tipo dinamico, che consentono alla risorsa di spostarsi da un'operazione all'altra, con una capacità del pool pari ad uno, in quanto ogni fase è caratterizzata dalla presenza di un solo operatore.

4.4.2 FASE F10-ASSEMBLAGGIO

Definite le risorse, mi sono concentrato sulla modellazione delle fasi del processo.

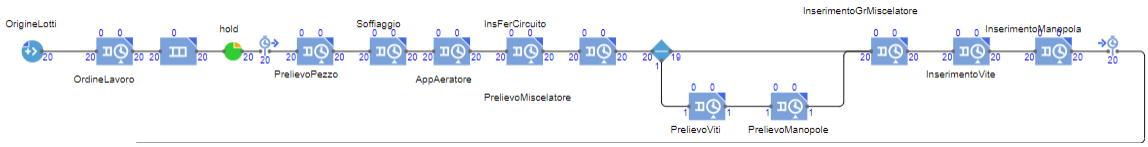


Figura 13 modello relativo al processo di assemblaggio della fase F10

Per la modellazione della fase F10-ASSEMBLAGGIO sono partito da un blocco *Source*, con il quale sono andato a rappresentare l'ingresso delle unità di base nel processo.

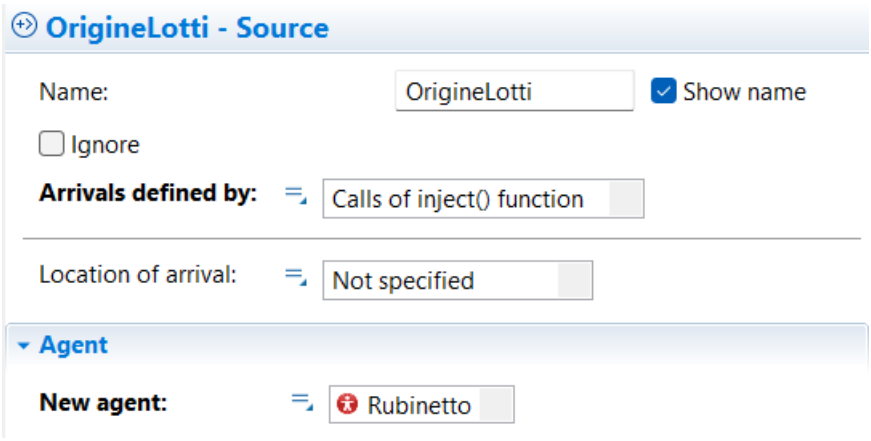


Figura 14 Blocco Originelotti fase F10

Non avendo informazioni sui tempi di arrivo dei lotti dalla fase precedente, per definire gli ingressi nel sistema ho utilizzato il parametro *PartiLotto*, con un valore di default pari a 20, e un pulsante "Lotto" che, quando attivato, fa entrare nel sistema un lotto di dimensioni uguali al valore di *PartiLotto*.



Una volta nel processo, queste unità di base affrontano diverse operazioni, che ho replicato nel modello utilizzando dei blocchi *Service*.

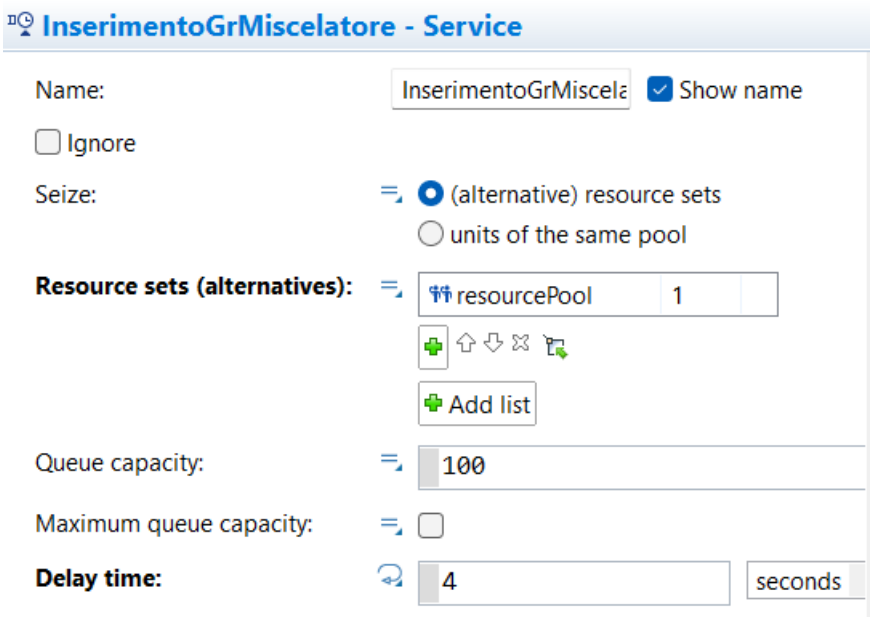
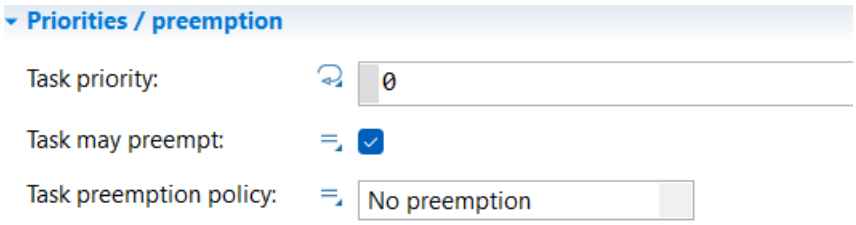


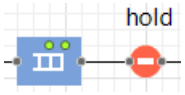
Figura 15 Blocco InserimentoGrMiscelatore

La modellazione di questi blocchi presenta delle caratteristiche comuni, infatti, per tutti, ho scelto lo stesso *ResoucePool* per il prelievo delle risorse e ho associato un livello di priorità pari a 0, che mi permette di eseguire operazioni in sequenza.



L'unica caratteristica che varia per questo tipo di blocchi, in questa fase, è il tempo di delay, ovvero il tempo impiegato per svolgere un'operazione, che ho opportunamente settato per ognuno di essi.

Subito dopo l'operazione di *OrdineLavoro*, ho introdotto un blocco *Queue* e un blocco *Hold* per rendere il processo lineare così da poter lavorare un solo pezzo alla volta, anziché l'intero lotto su una stazione per poi passare a quella successiva.



Ho modellato quindi il blocco *Hold* in modo tale da rilasciare il pezzo solo dopo che quello precedente ha completato l'operazione di assemblaggio.

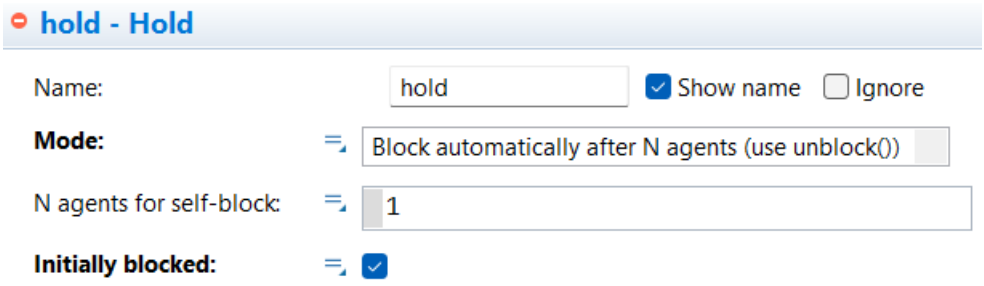
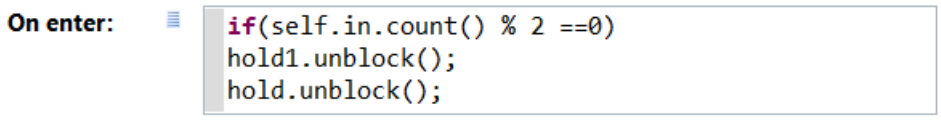
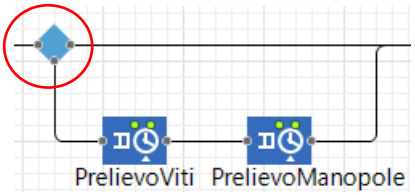


Figura 16 Blocco Hold

Quindi ho inserito all'ingresso del blocco Queue, prima del deposito del pezzo, una funzione hold.unblock() che sblocca *l'Hold* posto all'inizio, liberando un nuovo pezzo.



Per quanto riguarda le operazioni di prelievo viti e manopole, ho utilizzato un blocco *Select Output* per collegarle al sistema,



in quanto queste a differenza delle altre prelevano gruppi di elementi e quindi sono operazioni che devono essere effettuate solo nel momento dell'esaurimento dello stock prelevato in precedenza. Ho quindi costruito una logica attraverso l'utilizzo della variabile varVite che permette al flusso di fluire su tale arco solo quando lo stock di materie prelevato in precedenza termina:

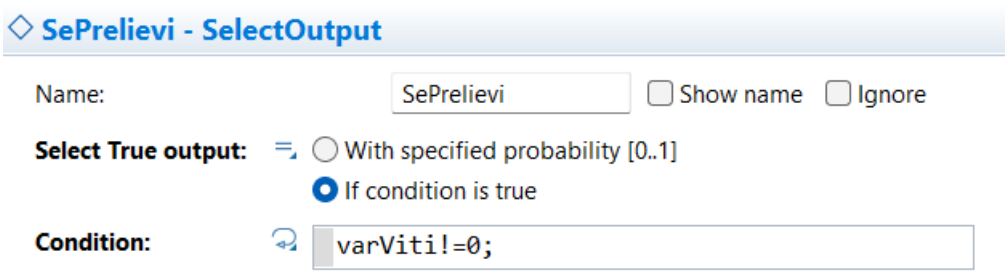
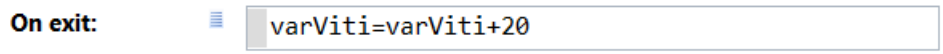
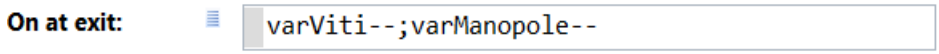


Figura 17 Blocco SelectOutput

Andando a incrementare il valore delle variabili di 20 ogni volta che il flusso esce dal blocco *Prelievoviti*



e diminuendolo di uno ogni volta che viene eseguita la fase di *InserimentoGrMiscelatore*



mi sono creato una sorta di buffer la cui dimensione viene utilizzata per verificare la condizione presente nel blocco Hold e quindi per stabilire se il flusso attraversa o meno tale arco.

4.4.3 F10-CONTROLLO QUALITA'

Completata la modellazione del processo di assemblaggio, sono passato a quella del controllo qualità.

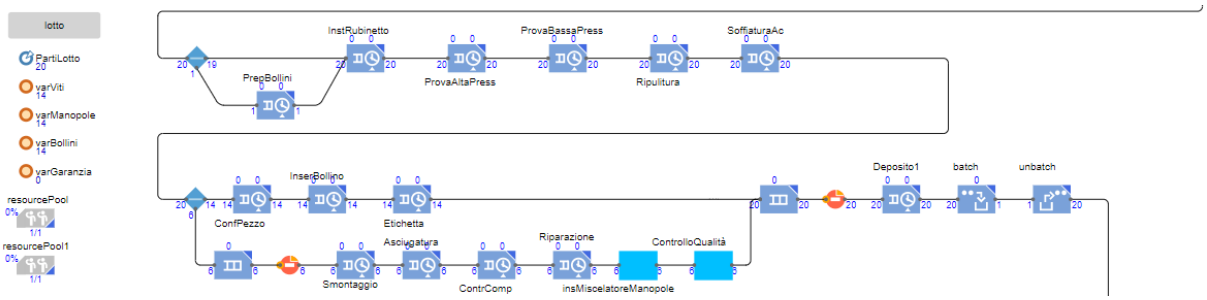
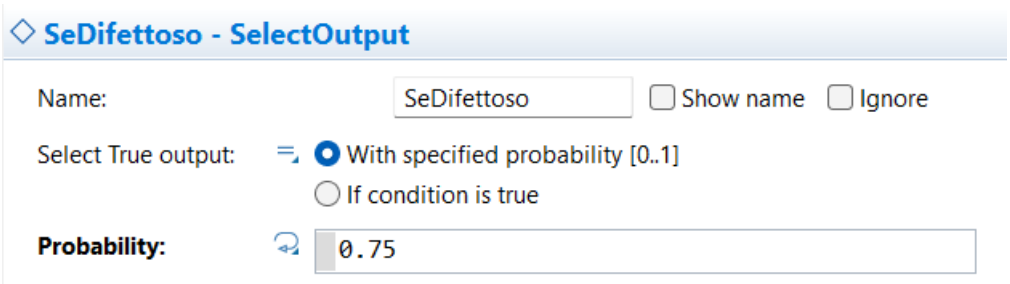


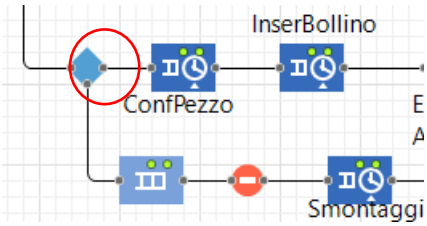
Figura 18 modello relativo al controllo qualità della fase F10

Proprio come per il precedente processo, ho impiegato una serie di blocchi *Service* per replicare le operazioni di controllo qualità. Per questi blocchi, ho mantenuto la medesima struttura di quelli utilizzati nella precedente fase, quindi stesso pool di risorse e stesso livello di priorità.

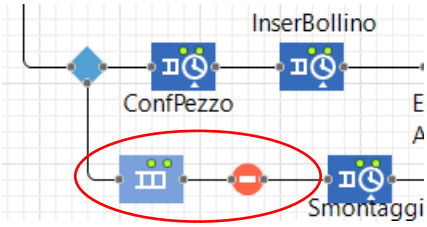
Per la modellazione del controllo di conformità mi sono servito di un blocco *Select Output* con probabilità di verifica dell'evento favorevole pari al tasso di conformità (0.75).



Questo mi ha permesso di definire due vie:



la prima percorsa nel caso di verifica dell'evento favorevole e quindi di conformità del pezzo, l'altra invece nel caso del mancato rispetto dei requisiti minimi stabiliti, ma solamente dopo che tutti i pezzi siano stati testati sul banco di prova.



Per modellare tale priorità ho utilizzato un blocco Queue che funge da magazzino per i pezzi in arrivo e un blocco Hold che blocca il fluire dei rubinetti lungo il processo di rilavorazione. Ho modellato quindi il blocco Hold in modo tale da restare bloccato fino a quando non viene chiamata una funzione di apertura del flusso nel blocco Queue a valle.

On at exit:

```
if((self.in.count() + queue2.in.count()-queue2.out.count()) % 20 == 0)
hold2.setBlocked(false);
```

Una volta riparato, il pezzo viene reintrodotto nella fase di inserimento del gruppo miscelatore che ho rappresentato di nuovo attraverso la creazione di un Flow Chart,

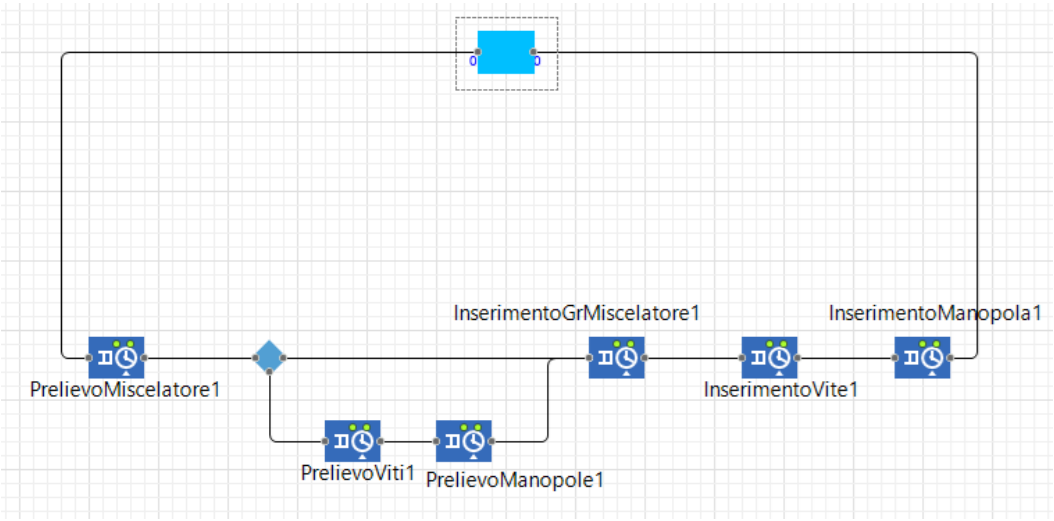


Figura 19 Flow Chart Prelievo gruppo miscelatore

che raggruppa una serie di operazioni all'interno di un blocco. lo stesso vale per la seguente operazione di controllo qualità anche essa rappresentata attraverso Flow Chart.

Per replicare il deposito dei prodotti a coppie ho utilizzato anche in questo caso in successione un blocco Queue e un blocco Hold, facendo in modo che il blocco Hold si sblocchi solo quando nel blocco Queue ci siano 2 rubinetti pronti per il deposito, per poi ribloccarsi subito dopo, in quanto a bloccaggio automatico.

On enter:

```
if(self.in.count() % 2 ==0)
hold1.unblock();
```

4.4.4 F20-INSCATOLAMENTO

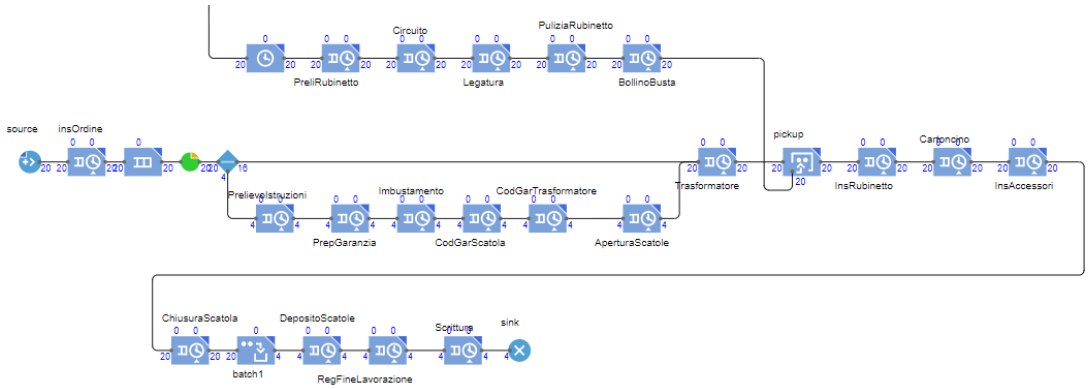


Figura 20 modello relativo al processo di inscatolamento

Per la modellazione di questa fase, proprio come la precedente, sono partito da un blocco Source,

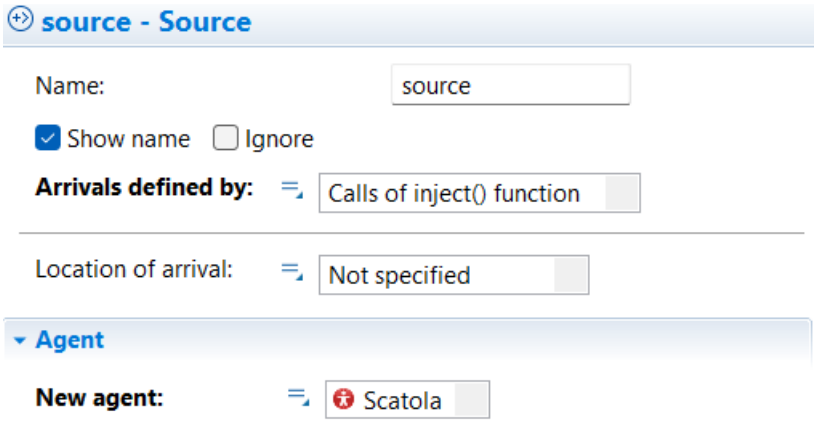


Figura 21 Blocco Source fase F20

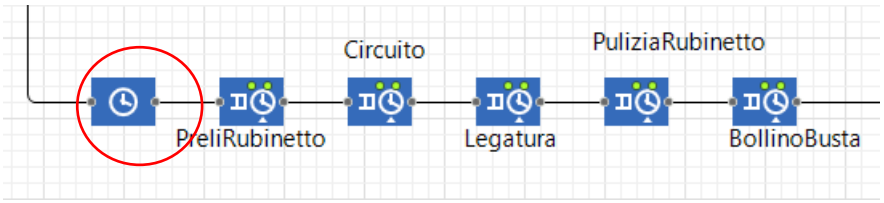
in questo caso però, per definire gli ingressi, ho usato la funzione chiamante "source.inject(PartiLotto)" situata in ingresso del blocco Unbatch che ordina il rilascio del lotto di dimensione PartiLotto al blocco Source.

On enter:

```
source.inject(PartiLotto);
```

Oltre al blocco source, per modellare questa fase, ho utilizzato anche altri blocchi già usati in precedenza. Come, ad esempio, i blocchi Service ai quali però in questo caso ho associato un ResourcePool diverso da quello utilizzato fino adesso, in quanto in questa fase abbiamo un altro operatore che si occupa dello svolgimento delle attività.

Per modellare il prelievo dei rubinetti dalla linea precedente invece ho usato un blocco Delay di tipo "Until StopDelay() is called" di capacità pari ad uno.



Questo blocco mette in attesa il prelievo del rubinetto dalla stazione precedente fino a quando nel blocco Trasformatore, viene chiamato lo StopDelay() che mette fine all'attesa del pezzo e lo fa entrare nel processo.

On at exit:

```
if( self.queueSize() == 0 )
    atDropOff.stopDelayForAll();
```

Per quanto riguarda invece l'operazione di inscatolamento ho utilizzato un blocco Pick Up, che permette di rimuove gli agenti da un determinato blocco di coda e di aggiungerli al contenuto dell'agente in ingresso ("contenitore").

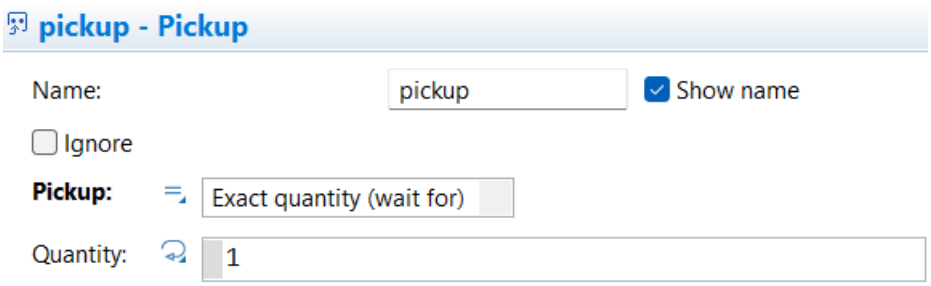
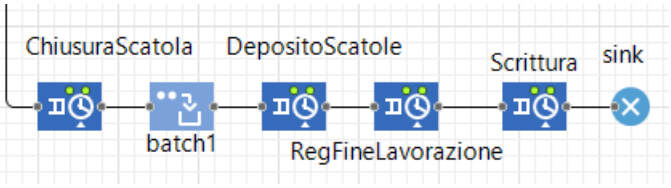


Figura 22 Blocco pick-Up

Poiché il deposito viene effettuato a gruppi di 5 scatole ho inserito un blocco Batch prima del Service DepositoScatole così da andare a creare dei lotti da 5 elementi e solo dopo depositali in magazzino.



CAPITOLO 5

ANALISI DEI RISULTATI

Completata la modellazione del processo, sono passato alla sua simulazione.

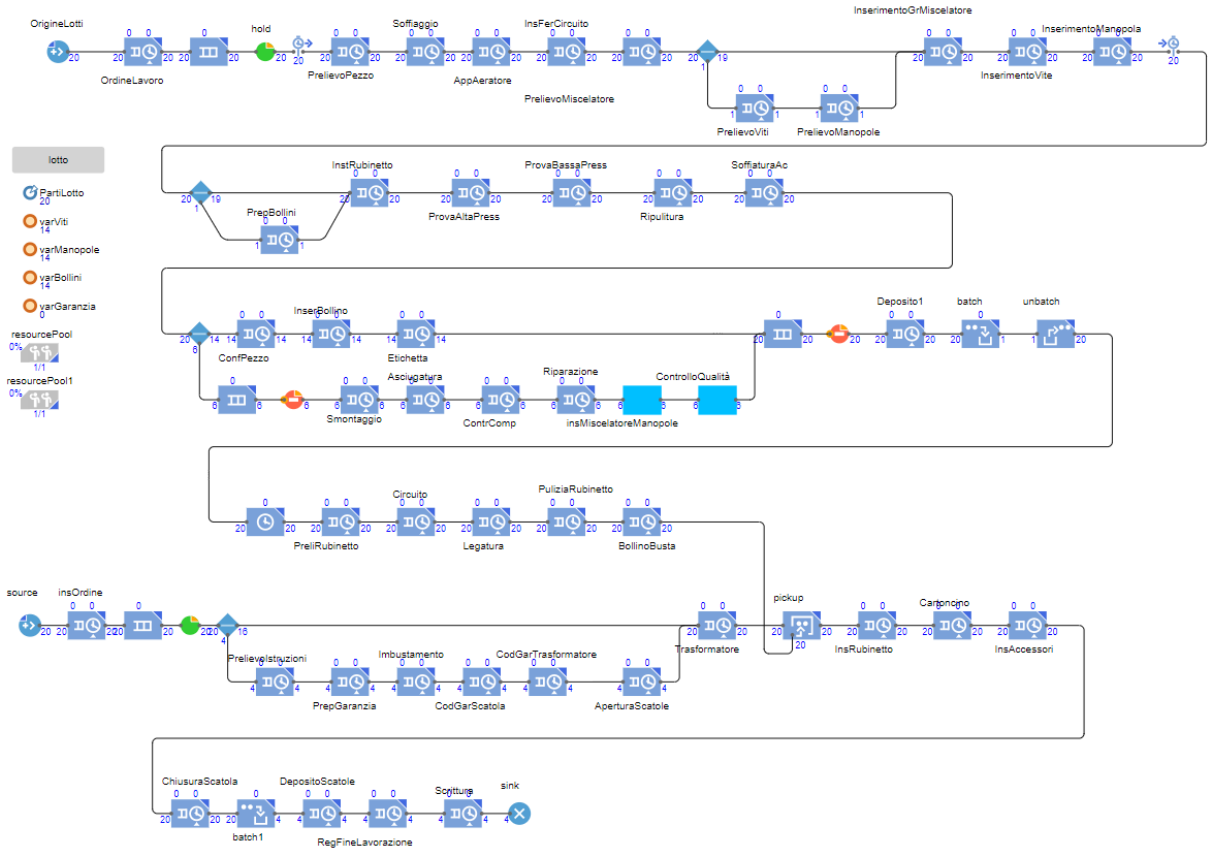


Figura 23 Modello del processo di assemblaggio e inscatolamento

Dopo un primo round simulativo, condotto su cento unità, ho ottenuto i seguenti tempi ciclo medi:

FASE F10-ASSEMBLAGGIO = 63 secondi

FASE F10-CONTROLLO QUALITA' = 137.125 secondi

FASE F20 = 91 secondi

INTERO PROCESSO = 218.325 secondi

Con una attenta analisi del processo e dei dati raccolti mi sono reso conto della presenza di alcune criticità nel sistema, che ne penalizzano le prestazioni. La principale problematica risiede nella diversità dei tempi ciclo delle due fasi, la quale genera un asincronismo tra di esse, che costringe il processo a valle a doversi fermare e attendere l'arrivo dei rubinetti dalla fase precedente.

Per risolvere tale criticità sono andato a modificare determinati aspetti della fase F10 che mi permettessero di ridurre la disparità dei tempi tra le due fasi e quindi il tempo ciclo totale.

5.1 AGGIUNTA DI UN OPERATORE

Per prima cosa ho introdotto un nuovo operatore che si occupasse esclusivamente della fase di rilavorazione. Per fare ciò ho aggiunto al modello un nuovo blocco ResourcePool con capacità pari ad uno, assegnandolo alle operazioni di rilavorazione, che non devono più attendere la fine dei test di controllo qualità per essere svolte.

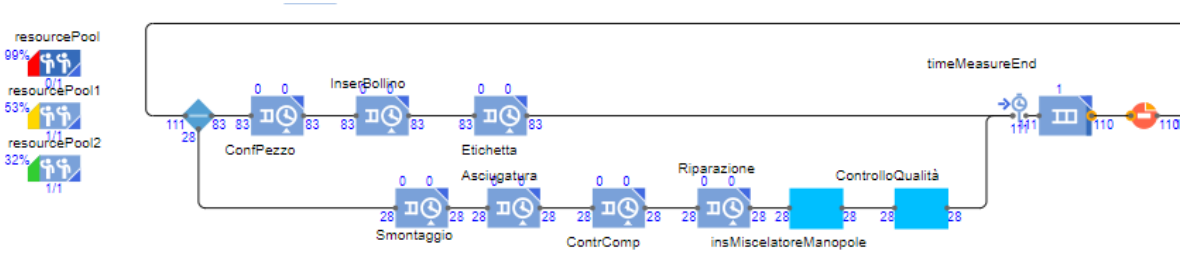


Figura 24 fase di rilavorazione con l'aggiunta di un nuovo operatore

Ottenendo i seguenti risultati:

TEMPO MEDIO FASE F10: = 151.425

TEMPO MEDIO FASE F20: = 91

TEMPO MEDIO PROCESSO: = 169.625

5.2 PARALLELIZZAZIONE FASE F10

Ho duplicato la fase F10 e l'ho messa in parallelo a quella già esistente. Inoltre, ho creato un nuovo ResourcePool, con capacità pari a uno, da associare alla nuova fase creata.

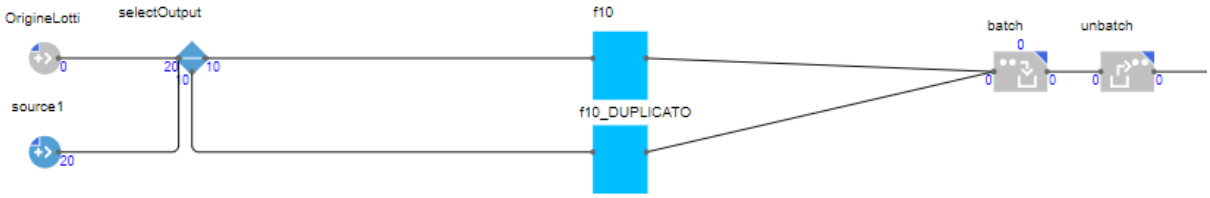


Figura 25 parallelizzazione della fase F10

Ottenendo i seguenti risultati:

TEMPO MEDIO FASE F10: = 101.235

TEMPO MEDIO FASE F20: = 91

TEMPO MEDIO PROCESSO: = 119.435

5.3 CONFRONTO DEI RISULTATI

Sono andato poi a confrontare i tempi medi ottenuti, per l'assemblaggio e l'inscatolamento di cento rubinetti, per i 3 casi. La fase F10 nello "stato attuale" ha una durata media di 200,125 secondi, nel caso invece dell'aggiunta di un operatore nella fase di assemblaggio pari a 151,425 secondi con un miglioramento dei tempi di 48,7 secondi. Ancora meglio è il caso della parallelizzazione della fase F10, caratterizzato da una durata media pari a 101,235 secondi permettendo un risparmio di ben 98,89 secondi rispetto allo "stato attuale". Risparmio che viene proiettato, sia nel caso dell'aggiunta di un nuovo operatore sia nel caso della parallelizzazione del sistema, sui tempi medi del processo.

	STATO ATTUALE	**AGGIUNTA DI UN OPERATORE**	**PARALLELIZZAZIONE FASE F10**
FASE F10	200,125 secondi	151,425 secondi	101,235 secondi
FASE F20	91 secondi	91 secondi	91 secondi
RUBINETTI INSCATOLATI NELL'ARCO DI 8 ORE LAVORATIVE	128	176	268
TEMPO MEDIO PROCESSO	218,325 secondi	169,625 secondi	119,435 secondi
TEMPO DI ATTESA MEDIO F20	109,125 secondi	60,425 secondi	10,235 secondi

Tabella 6 confronto dei risultati ottenuti

CONCLUSIONI

L'obbiettivo della tesi era quello di dimostrare come l'applicazione della simulazione possa consentire una valutazione approfondita delle prestazioni dei sistemi manifatturieri e che con le informazioni ottenute da questa analisi si possano prendere decisioni informate. Attraverso la costruzione di un modello per il processo di assemblaggio e inscatolamento del rubinetto sette-mix e la sua successiva simulazione e analisi si è dimostrato come la simulazione rappresenti un valido strumento per l'analisi e l'ottimizzazione dei sistemi manufatturieri.

Una volta modellato il sistema è stato semplice applicare a esso delle modifiche, questo mi ha permesso di valutare l'impatto di diverse alternative senza dover apportare dei cambiamenti fisici all'ambiente circostante. Nella tesi, infatti, è stata valutata l'aggiunta di un operatore dedicato alla fase di rilavorazione o la parallelizzazione della fase F10. Queste due modifiche hanno portato entrambe a un miglioramento delle prestazioni del sistema con una notevole riduzione dei tempi ciclo medi del processo.

Il modello costruito, oltre che per il miglioramento delle prestazioni del sistema, potrebbe essere utilizzato anche per altri scopi, come la valutazione dell'acquisto di un nuovo macchinario oppure la definizione della strategia produttiva questo grazie appunto all'elevata flessibilità di questo strumento.

Bibliografia

1. **Spiegato.com. [Online] https://spiegato.com/che-cose-lindustria-manifatturiera..**

2. internet4things.it. [Online] www.internet4things.it/industry-4-0/industria-40-la-nuova-era-del-manifatturiero/..

3. wikipedia. ***industria 4.0.*** **[Online] https://it.wikipedia.org/wiki/Industria_4.0..**

4. industry4.it. [Online] https://www.industry-4.it/cos-%C3%A8-industria-4-0/.

5. miele, daniela. ***sviluppo di un modello di simulazione integrato e parametrico a supporto del facility managment.*** **s.l. : Università degli studi di napoli Federico II.**

6. Simulazione parte H Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale, Corso di Sistemi di servizio e simulazione. [aut. libro] M. Roma. 2012-2013, Cap.2.

7. Nardone, Ramona. ***sviluppo di un modello battery swap per veicoli commerciali elettrici circolanti sulla rete autostradale italiana.*** **s.l. : Politecnico di Torino, 2020.**

8. Bertollo, Leonardo. ***confronto critico fra codifica in AnyLocgic e in arena per la simulazione discreta.*** **s.l. : Università degli studi di Padova, 2011.**

9. Murano, Mattia. ***Simulazione discrete con il software AnyLogic. caratteristiche generali e applicazioni ad un caso di studio.*** **s.l. : Università degli studi di Padova, 2009.**

10. ***DMP Electronics.*** **[Online] www.dmpelectronics.com.**

11. Elecrtonics, DMP. sette-mix. [Online] DMP Electronics. www.dmpelectronics.com.

12. ***Introduction to the art and science.*** **Shannon, Robert E. winter simulation confernce : s.n., 1998.**