

## Case Study:

# Ottimizzazione del Processo Produttivo assemblaggio Apparecchiature Biomedicali tramite Simulazione a Eventi Discreti

## Abstract

Nell'ambito della gestione manifatturiera, la simulazione a eventi discreti (DES - Discrete Event Simulation) si configura come un potente strumento per analizzare, ottimizzare e prevedere il comportamento dei sistemi produttivi. Questo

articolo illustra i principi di questa tecnica, ne evidenzia i vantaggi, e presenta un modello sviluppato per la gestione della produzione, mostrando come possa essere applicato per migliorare l'efficienza e la flessibilità operativa.

## Introduzione

La crescente complessità dei sistemi produttivi moderni richiede strumenti avanzati per prendere decisioni informate e consapevoli. La simulazione a eventi discreti (DES) consente di modellare sistemi complessi rappresentandoli come una sequenza di eventi discreti nel tempo. Questa tecnica permette

di valutare scenari ipotetici, identificare colli di bottiglia, migliorare l'allocazione delle risorse e prevedere gli effetti di modifiche nei processi produttivi, riducendo il rischio associato a scelte operative e strategiche.

## L'Utilità della Simulazione a Eventi Discreti

I modelli DES offrono numerosi vantaggi nell'ambito manifatturiero:

1. **Ottimizzazione dei processi:** La simulazione permette di individuare inefficienze nei flussi di lavoro e testare soluzioni alternative.
2. **Valutazione di scenari "what-if":** È possibile analizzare come il sistema risponderebbe a cambiamenti nelle politiche produttive, nella domanda o nell'organizzazione delle risorse.
3. **Gestione delle risorse:** La DES consente di modellare l'utilizzo di macchinari, personale e materiali per migliorarne la gestione.
4. **Supporto alle decisioni strategiche:** La simulazione fornisce dati quantitativi utili per giustificare investimenti in nuove tecnologie o cambiamenti organizzativi.

## Contesto e Obiettivo

La produzione di apparecchiature biomedicali, come sistemi radiologici per ospedali e cliniche, TAC e postazioni per la risonanza magnetica, presenta sfide significative a causa dell'alta complessità dei prodotti, della stringente normativa di settore e della necessità di mantenere un'elevata qualità. La variabilità nella domanda, legata a bandi pubblici o privati e alla disponibilità di fondi e investimenti, richiede un approccio agile e resiliente alla pianificazione produttiva.

Un'azienda specializzata in dispositivi radiologici si è trovata a dover affrontare i seguenti problemi:

1. Colli di bottiglia nella produzione, che causavano ritardi nelle consegne.
2. Eccesso di scorte intermedie nei buffer, con conseguenti costi di gestione.
3. Difficoltà nell'allocazione delle risorse umane qualificate durante i picchi di domanda.

L'obiettivo principale era ottimizzare i processi produttivi, migliorare l'efficienza operativa e garantire tempi di consegna più affidabili.

## Approccio con Simulazione a Eventi Discreti

Per affrontare queste sfide, è stato sviluppato un modello di simulazione a eventi discreti (DES) basato sui processi produttivi dell'azienda. Il modello ha permesso di analizzare e ottimizzare i flussi produttivi e le risorse in un ambiente virtuale, riducendo i rischi associati a modifiche operative dirette.

## 1. Struttura del Modello

Il modello rappresenta una linea produttiva multi-fase, dove gli ordini attraversano una sequenza di operazioni distribuite su diversi reparti e risorse con competenze diverse. Ogni fase è descritta da:

- **Tempo di attrezzaggio**, che può variare in base alla tipologia di prodotto e alla sequenza produttiva.
- **Tempo unitario di lavorazione**, che può variare in base alla quantità dell'ordine e alla tipologia di prodotto.
- **Risorse richieste**, come personale qualificato e spazio nel buffer del reparto.
- **Sequenzialità delle operazioni**, con la possibilità di gestire fasi parallele e successive.
- **Calendario di lavoro**, in termini di turni di reparto e di giorni di apertura reparti.

Con questa struttura è stato possibile modellizzare le fasi del processo, che prevedono la costruzione e collaudo di assiemi critici come inverter, monoblocco RX, collimatore, che vengono poi montati nel telaio della macchina e connessi ai dispositivi di controllo e all'interfaccia utilizzatore.

## 2. Variabilità nei Processi

Un aspetto fondamentale del modello è l'integrazione della variabilità operativa. Ad esempio:

- **Tempi di lavorazione variabili**: Il tempo di completamento di una fase non è fisso, ma

soggetto a una distribuzione di probabilità che può simulare ritardi o accelerazioni.

- **Gestione dinamica delle risorse**: In caso di carenza di personale qualificato, il modello consente di impiegare operatori con qualifiche superiori per garantire la continuità operativa.

La variabilità è in parte associata ai diversi livelli di addestramento ed esperienza delle persone e all'utilizzo di manodopera con specializzazione diversa per mantenere flessibilità nell'utilizzo di personale ove disponibile.

## 3. Sincronizzazione delle Fasi

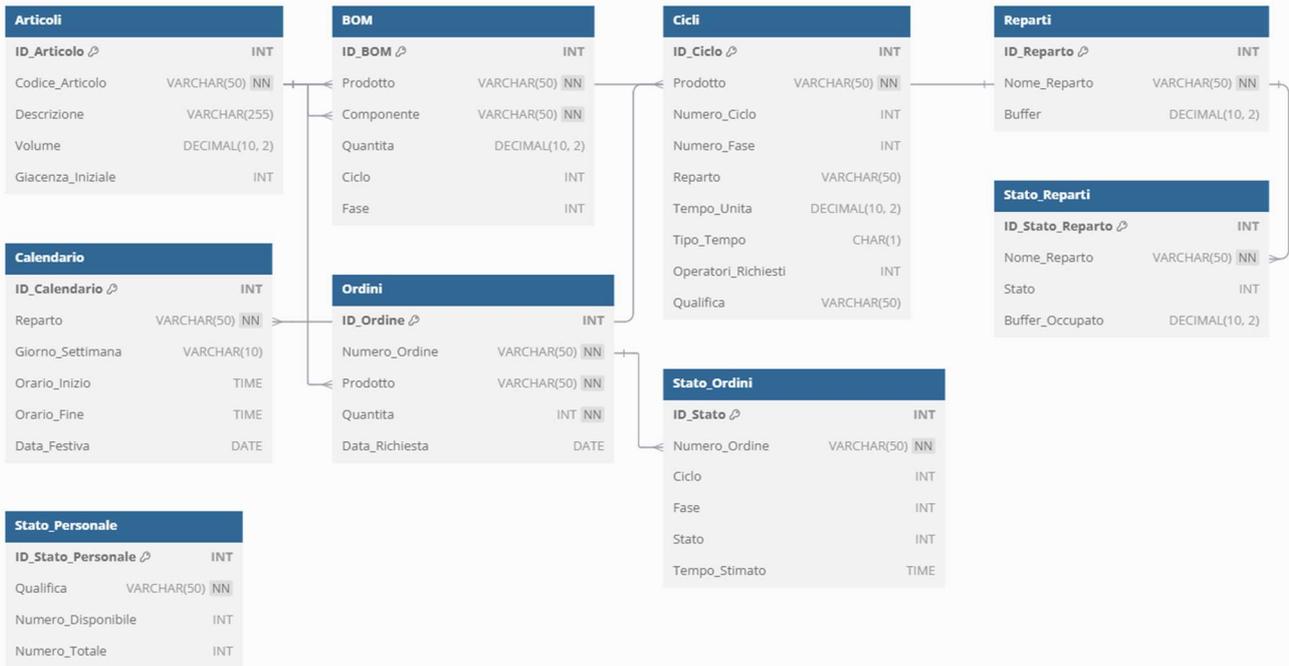
Un'ulteriore caratteristica avanzata del modello è la possibilità di sincronizzare le fasi parallele in base ai tempi di completamento previsti. Questa funzionalità aiuta a ridurre l'accumulo di materiali nei buffer, ottimizzando l'uso dello spazio e riducendo i costi associati alla gestione delle scorte intermedie.

## 4. Macchina dei Ritardi

Il modello integra una "macchina dei ritardi", che genera casualmente eventi di ritardo su alcune attività in corso. Questo approccio aumenta il realismo del modello, simulando l'imprevedibilità di eventi come malfunzionamenti dei macchinari o problemi logistici.

## 5. Analisi dei risultati

Sono stati individuati degli indici di valutazione del processo modellizzato e costruiti dei dashboard per visualizzare indicatori e grafici temporali.



## Implementazione e Risultati

La simulazione è stata eseguita su un orizzonte temporale di sei mesi, con scenari che includevano:

- **Picco di domanda:** Simulazione di un incremento del 50% nella produzione.

- **Turni ridotti:** Test dell'efficienza operativa in periodi con risorse limitate, come vacanze o scioperi.
- **Introduzione di una nuova linea produttiva:** Valutazione dell'impatto di un'espansione infrastrutturale.

## Risultati Principali

1. **Riduzione del Tempo Medio di Produzione**  
Il tempo medio di produzione è stato ridotto del 20% grazie all'ottimizzazione dei flussi e alla sincronizzazione delle fasi parallele.
2. **Minimizzazione delle Scorte Intermedie**  
L'accumulo nei buffer è diminuito del 30%, riducendo i costi operativi e migliorando l'efficienza dello spazio disponibile.

3. **Utilizzo Ottimale del Personale**  
L'assegnazione dinamica delle risorse umane ha migliorato del 15% l'utilizzo del personale qualificato, riducendo i tempi di inattività e aumentando la flessibilità operativa.
4. **Aumento dell'Affidabilità delle Consegne**  
L'analisi dei dati ha consentito di implementare politiche di priorità per garantire la puntualità delle consegne degli ordini critici, migliorando la soddisfazione del cliente.

## Conclusioni e Prospettive Future

Il case study dimostra come la simulazione a eventi discreti possa trasformare un sistema produttivo complesso, come quello delle apparecchiature biomedicali, in una struttura più efficiente e resiliente. La possibilità di testare scenari ipotetici e integrare variabili imprevedibili offre alle aziende un vantaggio competitivo, aiutandole a rispondere rapidamente alle mutevoli esigenze del mercato.

La soluzione adottata non solo ha risolto i problemi immediati, ma ha fornito una base solida per future decisioni strategiche, dimostrando che la simulazione non è solo un esercizio accademico, ma uno strumento pratico e di grande valore nel management manifatturiero.

La simulazione a eventi discreti è un alleato strategico per le aziende manifatturiere che desiderano migliorare i propri processi produttivi in un contesto sempre più dinamico e competitivo. Il modello sviluppato dimostra come sia possibile integrare realismo, flessibilità e capacità predittiva in un unico strumento, capace di supportare decisioni operative e strategiche.

Le prospettive future includono l'integrazione di sistemi di intelligenza artificiale per una previsione ancora più accurata e l'adozione di approcci digital twin per una simulazione in tempo reale dei processi produttivi.

AVVIA SIMULAZIONE

24/12/24 08:00

Inizio simulazione

5

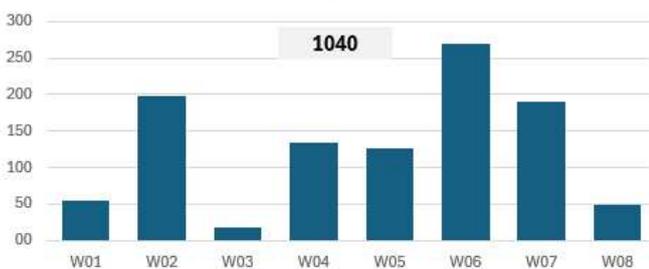
intervallo simulazione [min]

Sincronizzazione fasi

Variabilità tempi

Simulazione completata il 12/01/2025 17:03:30  
 Tini: 24/12/2024 08:00:00; intervallo (min): 5  
 Sincronizzazione fasi: Falso; Variabilità tempi fasi: Falso

carico lavoro reparti [h]



Reparto	Qualifica operatore
W01	collaudatore
W02	elettromeccanico
W03	magazziniere
W04	meccanico
W05	

T simulazione

FEB 2025

16 17 18 19 20 21 22

N° max operatori attivi: **6**

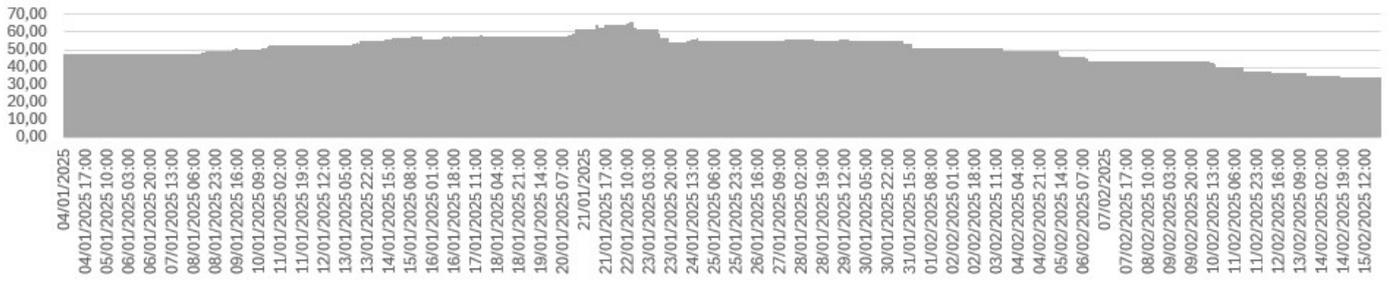
Max buffer [m3]: **65,4**

Makespan [gg]: **69,3**

Saturazione reparti: **41%**

Saturazione operatori: **27%**

### buffer reparti [m<sup>3</sup>]



### personale attivo

