

**ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

---

**SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA**

*DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'ENERGIA ELETTRICA E DELL'INFORMAZIONE  
«GUGLIELMO MARCONI»*

*CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA GESTIONALE*

**TESI DI LAUREA**

in

Laboratorio di strumenti di Ottimizzazione T-A

**Gestione del magazzino di un provider logistico: modello e simulazione in  
linguaggio Arena**

CANDIDATO

Francesca Bosso

RELATORE:

Chiar.mo Prof. Valentina Cacchiani

Anno Accademico 2015/2016

Sessione I



## Indice

Introduzione	
1. Simulazione	6
1.1 Definizione	6
1.2 Elementi di un modello di simulazione	6
1.3 Classificazione dei modelli di simulazione	7
1.4 Simulazione ad eventi discreti	8
1.5 Schema dello studio di un problema basato sulla simulazione	8
2. Il software Arena	12
2.1 Il linguaggio Arena	12
2.2 I moduli	13
2.2.1 Moduli FLOW-CHART	13
2.2.2 Moduli DATA	17
3. Analisi del problema	18
3.1 Terziarizzazione delle attività logistiche	18
3.2 Il pallet EUR-Epal	19
3.3 L'interscambio come modalità di gestione del pallet	20
3.4 Obiettivo della simulazione	21
4. Caso di studio	22
4.1 Committente 1	24
4.2 Committente 2	26
4.3 Committente 3	27
4.4 Committente 4	29
4.5 Matrici	31
4.6 Mezzi di trasporto	32
5. Stima dei costi	33
5.1 Voci di costo per la gestione del parco pallet	33
5.2 Costi di trasporto	34
6. Schedulazione dei veicoli	38
6.1 Calendario delle consegne	38
6.2 Vertex Coloring Problem per l'assegnazione del veicolo	38
6.3 Scelta degli autoarticolati	39
6.4 Scelta degli autocarri	41
6.5 Configurazione finale delle consegne	44
7. Formulazione del modello di simulazione	45
7.1 Processo di gestione	45
7.2 Arrivo lotti	47
7.3 Smistamento a magazzino per punti di consegna	47
7.4 Gestione dell'ordine di trasporto	49
7.5 Ricevimento pallet vuoto	50
7.5.1 Pallet vuoto danneggiato	50
7.5.2 Pallet vuoto in buono stato	52
8. Tracciato delle entità	53
9. Reports	55
Conclusioni	59
Bibliografia	60



## **Introduzione**

Questo elaborato ha lo scopo di mappare il flusso delle attività svolte all'interno del magazzino di un operatore logistico, dal ricevimento della merce, alla gestione del flusso di ritorno del pallet vuoto. Per un'analisi dinamica del modello è utilizzato il software Arena che consente la riproduzione del sistema reale in un ambiente grafico integrato.

Viene innanzitutto definito cosa significa simulare un sistema, gli elementi di una simulazione e i passi necessari per compierla. Segue una breve introduzione al software Arena, i vantaggi che l'utilizzo di questo può portare e la spiegazione dettagliata di tutti i moduli che verranno utilizzati nel modello.

Il terzo capitolo presenta lo scenario della modellazione: vengono definiti i ruoli che un provider logistico ha all'interno della catena distributiva nonché gli obiettivi della simulazione.

Il quarto capitolo analizza il caso di studio, soffermandosi in particolare sull'indagine dei committenti e degli ordini da emettere.

Il quinto capitolo apre una parentesi di costi di gestione e di trasporto che il provider logistico deve sostenere nell'orizzonte temporale della simulazione.

Viene poi affrontata, nel sesto capitolo, la schedulazione dei mezzi di trasporto gestiti dall'operatore. Per l'assegnazione dei veicoli è utilizzato il modello del Vertex Coloring Problem, eseguito in AMPL.

Nel settimo capitolo, dopo aver definito in maniera esaustiva il processo reale, viene esposto, passo per passo, il modello in Arena.

L'ottavo capitolo è dedicato al chiarimento dell'avanzamento delle entità all'interno del modello, monitorato attraverso l'utilizzo di variabili.

Il nono e ultimo capitolo riporta i Reports della simulazione e alcune considerazioni per il miglioramento dell'efficienza del sistema.

Chiudono le conclusioni e la bibliografia.

# 1. LA SIMULAZIONE

## 1.1 Definizione

Con il termine simulazione si intende la riproduzione del comportamento di un sistema. All'interno della Ricerca Operativa, la simulazione utilizza modelli astratti che vengono costruiti al fine di "replicare" le caratteristiche di un sistema reale. Essa gioca un ruolo molto importante soprattutto nel progettare un sistema stocastico e nel definirne le procedure operative: il funzionamento di un sistema è "simulato" utilizzando distribuzioni di probabilità per generare casualmente eventi, ottenendo osservazioni statistiche a livello di prestazioni. Naturalmente, affinché ciò possa essere realizzato, è necessario costruire un modello, che permetta di descrivere le operazioni in modo chiaro ed esaustivo. Gli aspetti rilevanti, che fanno della simulazione uno strumento largamente utilizzato, sono legati al fatto che essa permette di:

- Rappresentare sistemi reali anche complessi tenendo conto delle sorgenti di incertezza;
- Riprodurre il comportamento di un sistema in riferimento a situazioni che non sono sperimentabili direttamente.

D'altra parte deve essere tenuto sempre ben presente il fatto che:

- La simulazione fornisce indicazioni sul comportamento del sistema, ma non "risposte" esatte;
- L'analisi dell'output di una simulazione potrebbe essere complessa e potrebbe essere difficile individuare quale possa essere la configurazione migliore;
- L'implementazione di un modello di simulazione potrebbe essere laboriosa ed inoltre potrebbero essere necessari elevati tempi di calcolo per effettuare una simulazione significativa.

## 1.2 Elementi di un modello di simulazione

Come abbiamo già osservato, per simulare il comportamento di un sistema è necessario costruire un modello di simulazione. Il modello deve essere sufficientemente complesso da rispondere alle esigenze del caso, ma comunque chiaro e di facile comprensione. Devono inoltre essere specificati i limiti di utilizzo del modello stesso. Vediamo ora gli elementi che costituiscono un modello di simulazione.

- Variabili di stato. Innanzitutto ricordiamo che un sistema è descritto in ogni istante di tempo da un insieme di variabili che prendono nome di variabili di stato. Quindi, ad esempio, in riferimento ad un sistema a coda, è una variabile di stato il numero degli utenti presenti nel sistema in un certo istante di tempo.

- **Eventi.** Si definisce evento un qualsiasi accadimento istantaneo che fa cambiare il valore di almeno una delle variabili di stato. L'arrivo di un utente ad un sistema a coda è un evento, così come il completamento di un servizio.
- **Entità e attributi.** Le entità sono singoli elementi del sistema che devono essere definiti. Un esempio di entità è un utente presso un sistema a coda. Le entità possono essere caratterizzate da attributi che forniscono un valore di un dato assegnato all'entità stessa. Ad esempio, in un sistema a coda mono servente dove le entità sono gli utenti, un attributo di un'entità "utente" potrebbe essere il suo tempo di arrivo al sistema. Le entità possono essere raggruppate in classi che sono insiemi di entità dello stesso tipo, ovvero si possono raggruppare le entità in base ad attributi.
- **Risorse.** Le risorse sono elementi del sistema che forniscono un servizio alle entità. Un'entità può richiedere una o più unità di risorsa e se questa non è disponibile l'entità dovrà mettersi, ad esempio, in una coda in attesa che si renda disponibile, oppure intraprendere un'altra azione. Se invece la risorsa è disponibile, essa viene occupata dall'entità, trattenuta per il tempo necessario e poi rilasciata. Un esempio di risorsa potrebbe essere data da un operaio che sovrintende il funzionamento di una macchina che non può funzionare senza l'operaio stesso; quando è richiesto l'utilizzo di questa macchina, se la risorsa "operaio" è disponibile allora l'esecuzione del lavoro è effettuata, altrimenti si attende che la risorsa sia disponibile. L'operaio verrà "trattenuto" per la durata dell'esecuzione del lavoro e poi "rilasciato".
- **Attività e ritardi.** Un'attività è un'operazione la cui durata è nota a priori all'inizio dell'esecuzione dell'attività stessa. Tale durata può essere una costante, un valore aleatorio generato da una distribuzione di probabilità, oppure data in input o calcolata in base ad altri eventi che accadono nel sistema. Un esempio è dato dal tempo di servizio in un sistema a coda. Un ritardo è un periodo di tempo di durata indefinita che è determinata dalle condizioni stesse del sistema. Il tempo che un'entità trascorre presso una coda prima che si liberi una risorsa della quale necessita è un ritardo.

### **1.3 Classificazione dei modelli di simulazione**

I modelli di simulazione si possono classificare in base a diversi criteri; una prima distinzione può essere tra:

- Modelli continui, in cui le variabili variano con continuità;

- Modelli discreti, in cui il valore delle variabili cambia in ben definiti istanti di tempo.

Un'altra distinzione è tra:

- Modelli statici, che rappresentano un sistema in un particolare istante di tempo;
- Modelli dinamici, che rappresentano un sistema in evoluzione nel tempo.

Infine, si possono distinguere:

- Modelli deterministici, che non contengono componenti probabilistici;
- Modelli stocastici, che presentano elementi soggetti ad aleatorietà.

In questa trattazione considereremo modelli di simulazione discreti, dinamici, stocastici che vengono comunemente chiamati modelli di simulazione ad eventi discreti. Molte applicazioni sono ben rappresentate da modelli di questo tipo ed inoltre, approssimando variazioni continue con variazioni discrete, è possibile utilizzare modelli ad eventi discreti anche per approssimare il comportamento di sistemi continui, semplificando l'analisi.

#### **1.4 Simulazione ad eventi discreti**

Nella simulazione ad eventi discreti il sistema è rappresentato, nella sua evoluzione nel tempo, con variabili che cambiano il loro valore in ben definiti istanti di tempo. Questi istanti sono quelli nei quali accadono gli eventi. È chiaro che, essendo questi modelli di natura dinamica, è necessario registrare, ovvero tenere memoria, del tempo simulato che procede. In particolare sarà necessario definire un meccanismo di avanzamento del tempo per far procedere il tempo simulato da un valore ad un altro. La variabile che in un modello di simulazione fornisce il valore corrente del tempo simulato si chiama "simulation clock", ed esistono due modi per definire il suo avanzamento:

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

Il primo è quello più diffuso ed è quello a cui verrà fatto riferimento. In questo caso il "simulation clock" è inizializzato a zero e viene avanzato al tempo dell'accadimento del primo degli eventi futuri; poi il sistema viene aggiornato tenendo conto dell'evento che è accaduto, si aggiornano i tempi degli eventi futuri e si itera il procedimento. A differenza dell'avanzamento ad incrementi prefissati, i periodi di inattività non vengono considerati.

#### **1.5 Schema dello studio di un problema basato sulla simulazione**

Lo schema che descrive la successione delle varie fasi che caratterizzano uno studio basato sulla simulazione segue i seguenti step.

- 1) Analisi del problema. Consiste nel comprendere il problema cercando di capire quali sono gli scopi dello studio e di identificare quali sono le componenti

essenziali e quali le misure di prestazione che interessano. Naturalmente, se una versione del sistema è già operativa, si deve osservare tale sistema per dedurne le caratteristiche fondamentali.

- 2) Formulazione del modello di simulazione. Poiché si tratta di sistemi stocastici, per formulare un modello di simulazione è necessario conoscere le distribuzioni di probabilità delle quantità di interesse. Infatti, per generare vari scenari rappresentativi di come un sistema funziona, è essenziale che una simulazione generi osservazioni casuali da queste distribuzioni. Ad esempio, nei sistemi a coda è necessaria la distribuzione dei tempi di inter arrivo e i tempi di servizio; nella gestione delle scorte è necessaria la distribuzione della richiesta dei prodotti e la distribuzione del tempo tra un ordine e il ricevimento della merce; nella gestione dei sistemi di produzione con macchine che occasionalmente possono guastarsi, sarà necessario conoscere la distribuzione del tempo fino a che una macchina si guasta e la distribuzione dei tempi di riparazione. Generalmente è possibile solo stimare queste distribuzioni derivandole, ad esempio, dall'osservazione di sistemi simili già esistenti. Se dall'analisi dei dati si vede che la forma di questa distribuzione approssima una distribuzione tipo standard, si può utilizzare la distribuzione teorica standard effettuando un test statistico per verificare se i dati possono essere rappresentati bene mediante quella distribuzione di probabilità. Se non esistono sistemi simili dai quali ottenere dati osservabili si deve far ricorso ad altre fonti di informazioni: specifiche delle macchine, manuali di istruzioni delle stesse, studi sperimentali, etc. La costruzione di un modello di simulazione è un procedimento complesso.
- 3) Analisi del modello di simulazione. Nella fase di analisi del modello deve essere verificata l'accuratezza del modello realizzato con diverse modalità. Di solito ciò viene fatto attraverso un'analisi concettuale del modello che può essere effettuata insieme agli esperti del settore applicativo in modo da evidenziare eventuali errori e/o omissioni.
- 4) Scelta del software e costruzione di un programma. Dopo aver costruito il modello, esso deve essere tradotto in un programma. A tale scopo è possibile utilizzare diversi strumenti.
  - Linguaggi "general purpose". Linguaggi come C++, FORTRAN, etc. Erano molto utilizzati alla nascita della simulazione ma richiedono molto tempo di programmazione e quindi si preferisce, in genere, utilizzare linguaggi specifici per la simulazione.

- Linguaggi di simulazione generali. Forniscono molte caratteristiche necessarie per realizzare un modello di simulazione, riducendo così il tempo di realizzazione; esempi sono MODSIM, GPSS, SIMSCRIPT, etc. Anche se meno flessibili dei linguaggi “general purpose”, sono il modo più naturale per realizzare un modello di simulazione.
- Simulatori. Sono packages per la simulazione orientati alle applicazioni. Esistono numerosi pacchetti software di tipo interattivo per la simulazione come ARENA, WITNESS, EXTEND, MICRO SAINT. Alcuni sono abbastanza generali anche se dedicati a specifici tipi di sistemi come impianti industriali, sistemi di comunicazione, altri invece sono molto specifici come, ad esempio, nel caso di simulatori di centrali nucleari o di simulatori della fisiologia cardiovascolare. I simulatori permettono di costruire un programma di simulazione utilizzando menù grafici senza bisogno di programmare.
- Fogli elettronici. Quando si hanno problemi di piccole dimensioni si possono anche utilizzare fogli elettronici, come ad esempio Excel, per avere un’idea del funzionamento di un sistema.

5) Validazione del modello di simulazione. Nella fase successiva è necessario verificare se il modello che è stato realizzato fornisce risultati validi per il sistema in esame. Più in particolare, si deve verificare se le misure di prestazione del sistema reale sono bene approssimate dalle misure generate dal modello di simulazione. Ciò è molto difficile da effettuare, specialmente in fase di progettazione quando il sistema reale non esiste.

6) Progettazione della simulazione. Prima di passare all’esecuzione della simulazione, è necessario decidere come condurre la simulazione. Spesso una simulazione è un processo che evolve durante la sua realizzazione e i risultati iniziali conducono verso configurazioni più complesse. Ci sono inoltre problematiche di tipo statistico:

- La determinazione della lunghezza del transitorio del sistema prima di raggiungere condizioni di stazionarietà, momento dal quale si inizia a raccogliere dati se si vogliono misure di prestazione del sistema a regime;
- La determinazione della lunghezza della simulazione (durata) dopo che il sistema ha raggiunto l’equilibrio. Infatti, si deve sempre tener presente che la simulazione non produce valori esatti delle misure di prestazione di un sistema in quanto ogni singola simulazione può essere vista come un “esperimento statistico” che genera osservazioni sulle prestazioni del

sistema. Queste osservazioni sono poi utilizzate per produrre stime delle misure di prestazione e naturalmente, aumentando la durata della simulazione, può aumentare la precisione di queste stime.

- 7) Esecuzione della simulazione e analisi dei risultati. L'output della simulazione fornisce stime statistiche delle misure di prestazione di un sistema. Questi risultati potrebbero evidenziare subito una configurazione del sistema migliore delle altre, ma più spesso verranno identificate più di una configurazione candidata ad essere la migliore. In questo caso potrebbero essere necessarie ulteriori indagini per confrontare queste configurazioni.
- 8) Presentazione delle conclusioni.

## 2. IL SOFTWARE ARENA

### 2.1. Il linguaggio Arena

Lo strumento che verrà utilizzato per rappresentare le attività di gestione all'interno del magazzino è il software Arena, un ambiente di simulazione che contiene tutte le risorse per la modellazione, la progettazione, la rappresentazione dei processi, l'analisi statistica e l'analisi dei risultati. SIMAN è il linguaggio incorporato in Arena, grazie al quale non è necessario scrivere righe di codice poiché l'intero processo di creazione del modello di simulazione è grafico, visivo e integrato.

Arena Simulation permette di:

- Conoscere e analizzare i processi aziendali "as-is";
- Effettuare analisi "what-if" e valutare le possibili alternative "to-be";
- Identificare i colli di bottiglia, quantificare i costi dei processi, ridurre il tempo ciclo;
- Schedulare e allocare le risorse in modo ottimo;
- Analizzare tutti gli aspetti del business, dall'emissione degli ordini d'acquisto alle spedizioni;
- Includere tutte le attività, risorse, logiche decisionali, costi, e supposizioni in un modello dinamico per analizzare i processi attuali e futuri;
- Realizzare sostanziali miglioramenti delle performance (costi, qualità, servizi, e velocità).

Il linguaggio Arena si basa su alcuni elementi, già precedentemente analizzati, quali:

- **VARIABILI:** rappresentano valori che descrivono lo stato del sistema o del processo;
- **ENTITA':** oggetti che fluiscono attraverso il sistema;
- **RISORSE:** componenti del sistema che devono essere allocate alle entità;
- **ATTRIBUTI:** rappresentano dei valori associati alle singole entità;
- **CODE:** aree di attesa dove il movimento delle entità è temporaneamente sospeso.

## 2.2. I moduli

I moduli sono gli oggetti di diagramma di flusso e di dati che definiscono il processo da simulare. Tutte le informazioni necessarie per simulare un processo vengono memorizzate in moduli.

Si hanno due tipologie di moduli all'interno di Arena:

- Moduli FLOW-CHART che, collegati tra loro, descrivono il sistema dinamicamente
- Moduli DATA, per la descrizione statica del problema.

Verranno di seguito analizzati i moduli, di entrambe le tipologie, utilizzati al fine di rappresentare il sistema da simulare.

### 2.2.1 Moduli FLOW-CHART

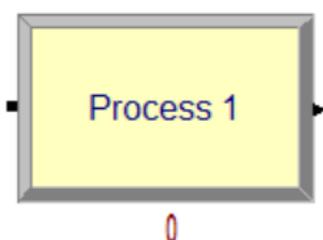
- Create



Definisce la creazione di un'entità e il suo ingresso nel sistema.

- *Name*: identificatore del modulo;
- *Entity Type*: tipo dell'entità creata;
- *Type*: modalità di generazione (con tempi di inter arrivo esponenziali, costanti o distribuiti secondo una distribuzione di probabilità);
- *Entities per Arrival*: numerosità del gruppo di arrivo;
- *Max Arrivals*: numero totale di entità generate;
- *First Creation*: istante di arrivo della prima entità.

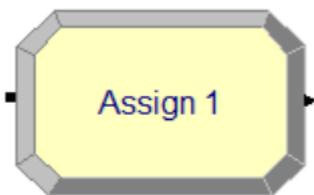
- Process



Rappresenta un'attività svolta dalle entità che lo attraversano. Serve anche per definire sotto modelli.

- *Name*: identificativo del modulo;
- *Type*: standard processing o subModel;
- *Action*: tipo di processamento;
- *Delay*: è richiesto un tempo di processamento, ma nessuna risorsa;
- *Seize Delay*: è richiesto un tempo di processamento e una risorsa che viene allocata, ma non rilasciata;
- *Seize Delay Release*: è richiesto un tempo di processamento e una risorsa che viene allocata e rilasciata;
- *Delay Release*: è richiesto un tempo di processamento, trascorso il quale una risorsa, precedentemente allocata, è rilasciata;
- *Priority*: livello di priorità delle entità che attraversano il modulo;
- *Resources*: risorsa o insieme di risorse usate per il processamento;
- *Delay Type*: distribuzione utilizzata per generare i tempi di processamento;
- *Units*: unità di misura del tempo.

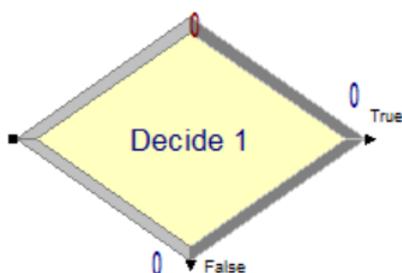
- Assign



L'operazione di assegnazione avviene quando un'entità attraversa il modulo.

- *Name*: identificatore unico del modulo;
- *Assignments*: specifica l'assegnamento da effettuare ogni volta che un'entità attraversa il modulo.

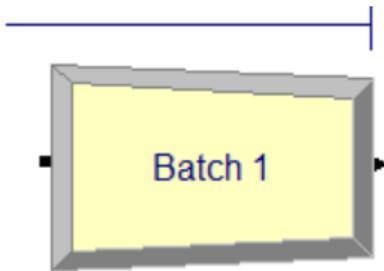
- Decide



In base alla condizione, l'entità viene instradata su uno dei due o più rami di uscita del modulo.

- *Name*: identificativo del modulo;
- *Type*: decisione su condizione.

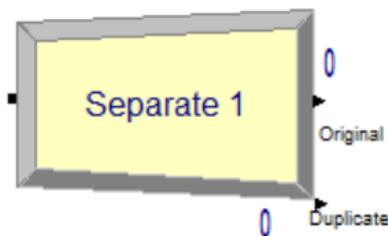
- Batch



Le entità che raggiungono il modulo attendono in una coda fino a quando il lotto non è completato. A quel punto viene generata un'entità rappresentativa del lotto.

- *Name*: identificativo del modulo;
- *Type*: tipo di raggruppamento (temporaneo o permanente);
- *Batch Size*: dimensione del lotto;
- *Save Criterion*: criterio per assegnare il valore dell'attributo rappresentante;
- *Rule*: regola di batching (tutte le entità o solo quelle con caratteristiche date es. by Attribute).

- Separate



Permette di duplicare entità singole o di separare lotti precedentemente creati con il modulo Batch.

- *Name*: identificativo del modulo;
- *Type*: tipo di separazione (Duplicate Original, Split Existing Batch)
- *Percet Cost to Duplicates*: allocazione dei tempi e costi delle entità entranti dei duplicati uscenti;
- *# of Duplicates*: numero di duplicati.

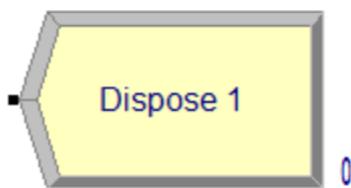
- Hold



Utilizzato per trattenere entità che in seguito vengono rilasciate.

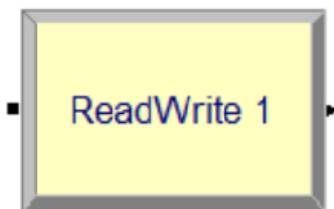
- *Name*: identificativo del modulo;
- *Type*: definisce la logica secondo cui vengono rilasciate le entità (Scan for Condition, trattiene le entità fino a quando non si sono verificate delle condizioni; Wait for Signal, rilascia le entità a seguito di un segnale proveniente dal modulo Signal; Infinite Hold, trattiene le entità fino a quando non vengono rimosse dal modulo Remove).

- Dispose



Rappresenta la distruzione di un'entità una volta che è stato percorso tutto il sistema. Il modulo è preceduto generalmente dalla raccolta delle statistiche

- ReadWrite



Utilizza un file remoto sul computer (foglio di calcolo Excel) per leggere i tempi di arrivo delle entità nel sistema.

All'interno del modello, il modulo Create avrà quindi l'unica funzione di creare l'entità. Quando questa raggiunge il modulo ReadWrite, 'legge' il proprio orario di arrivo e lo memorizza all'interno di uno specifico attributo, definito all'interno del modulo.

- *Name*: identificativo del modulo;
- *Type*: definisce il tipo di file che Arena dovrà interrogare per conoscere i tempi di arrivo delle entità;
- *Arena File Name*: nome del suddetto file. È importante che il nome sia lo stesso che appare nel modulo DATA File, associato a questo modulo FLOW-CHART;
- *Recordset ID*: identificativo che dovrà corrispondere a quello specificato all'interno del modulo DATA File, al quale è associato il nome delle celle Excel da cui estrapolare i tempi di arrivo;

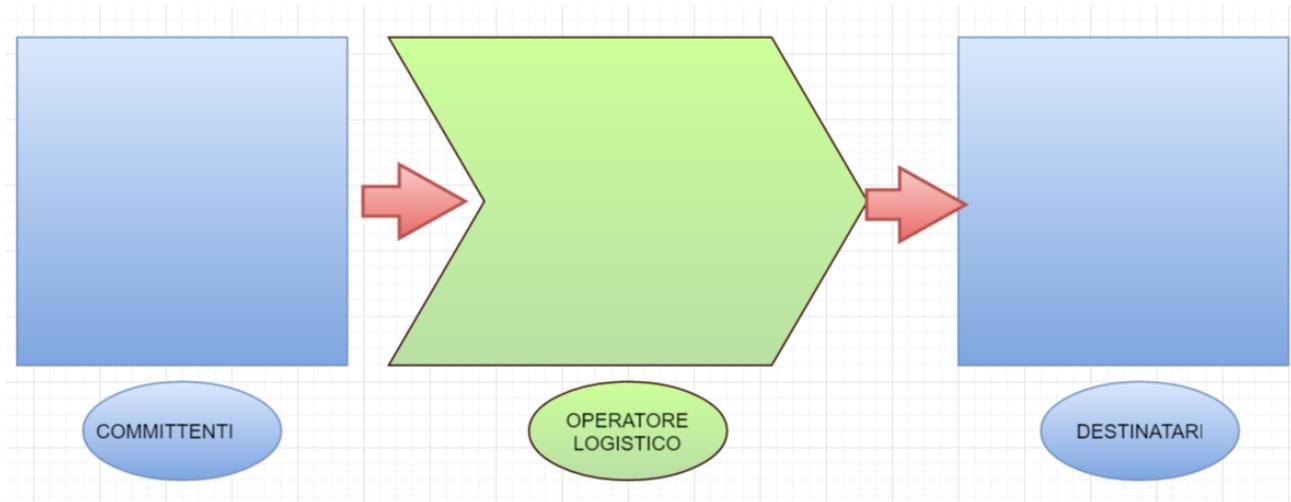
- *Assignment*: in questo campo vengono definiti gli attributi a cui vengono assegnati i valori letti dal file Excel.

### 2.2.2 Moduli DATA

- *Entity*: utilizzato per definire le entità, è possibile definire nome, costo di permanenza nel sistema e altri costi iniziali quali costi di attesa, trasferimento.
- *Queue*: utilizzato per definire le code; sono possibili diverse modalità di gestione, FIFO (first in first out) il primo elemento che entra è il primo elemento che esce dalla coda, LIFO (last in first out) l'ultimo elemento che entra è il primo a uscire, infine è possibile attribuire una priorità all'elemento che entra.
- *Resource*: utilizzato per definire le risorse; possiamo stabilire una capacità fissa delle risorse oppure variabile attraverso lo schedule.
- *Variable*: utilizzato per definire le variabili globali del sistema, possono essere vettori o matrici.
- *File*: utilizzato con il modulo ReadWrite per gestire gli arrivi letti da un file Excel. Viene definito il nome del file (lo stesso inserito in ReadWrite), il tipo e il percorso del file e, all'interno di Recordsets, il nome delle celle Excel da cui estrapolare i tempi di arrivo.

### 3. ANALISI DEL PROBLEMA

#### 3.1 Terziarizzazione delle attività logistiche



La scelta strategica aziendale tra mantenere interna la funzione logistica, cioè svolgerla con una propria organizzazione o, in alternativa affidarla a terzi specializzati nel settore, cioè terziarizzarla, dipende da numerosi fattori legati alla tipologia del prodotto e alla sua lavorazione, al grado di organizzazione e al livello di cultura presente sull'argomento. Il ruolo della logistica in questi ultimi anni si è andato progressivamente affermando soprattutto in funzione dell'evoluzione del panorama distributivo mondiale. Nelle strategie imprenditoriali, i nuovi modelli organizzativi privilegiano la scelta di un unico gestore in grado di coordinare ed integrare le diverse fasi del processo logistico. Il tutto con un fondamentale obiettivo: ottimizzare i tempi ed i costi della movimentazione delle merci. La via della terziarizzazione però non si percorre soltanto per una questione di abbattimento dei costi, ma anche per migliorare l'efficienza ed il servizio reso al cliente, sfruttando il know-how e la creatività, sicuramente più elevate, di operatori esterni.

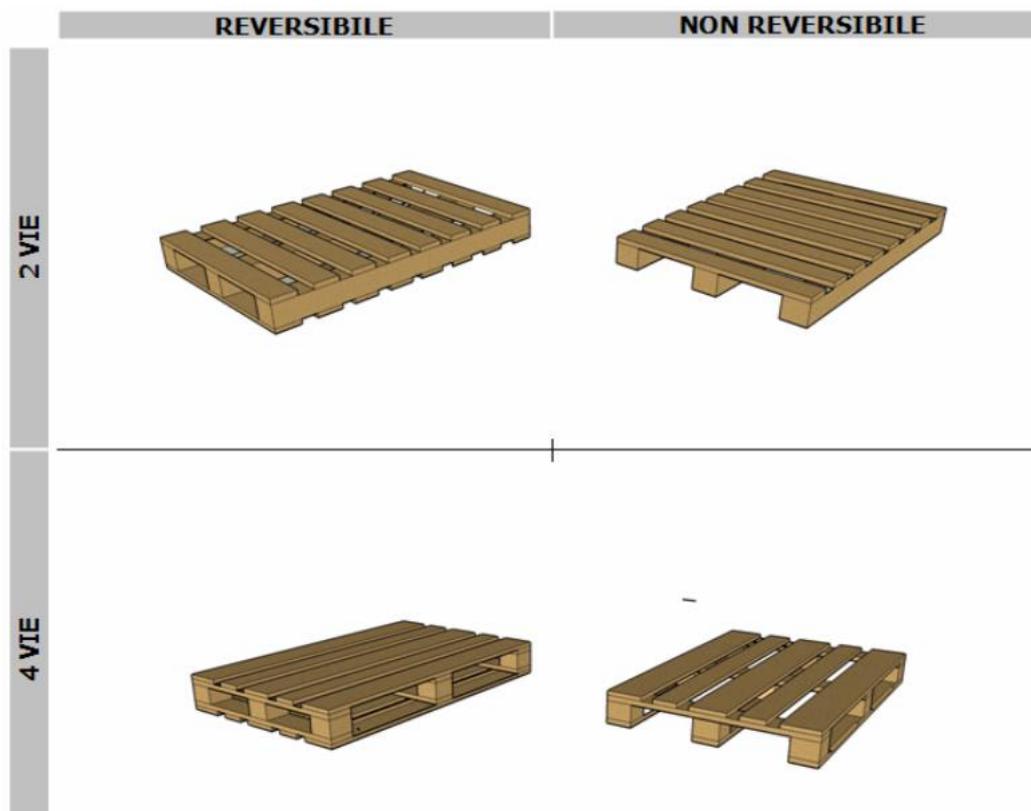
Le attività offerte da un operatore logistico lungo la catena distributiva non si limitano al collegamento immediato tra l'impresa e i propri clienti, ma vanno sempre più integrandosi al flusso delle aziende che ne usufruiscono. I servizi offerti possono essere estesi fino al flusso logistico di ritorno e quindi alla gestione del parco pallet di proprietà dell'impresa.

### 3.2 Pallet EUR-Epal

Il pallet, indicato anche con i termini pedana, bancale o paletta, può essere definito, secondo la UNI ISO 445, come una “piattaforma orizzontale caratterizzata da un’altezza minima, compatibile con la movimentazione tramite carrelli transpallet e/o elevatori a forche o altre appropriate attrezzature di movimentazione, impiegata per la raccolta, l’immagazzinamento, la movimentazione ed il trasporto di merci e carichi”.

In relazione al materiale costruttivo, il pallet in legno rappresenta la tipologia più diffusa nel mondo per economicità e sicurezza, realizzata con diverse essenze legnose (abete, pino, faggio e pioppo). La presenza di materiale vergine conferisce al pallet in legno elevate performance di resistenza, sia statica che dinamica.

Alcune delle classificazioni dei pallet possono definirsi in relazione al numero di “vie di inforcamento” (da 2 a 4), oppure alla reversibilità. Per “via” o “vano di inforcamento” si intende l’apertura che permette l’ingresso delle forche di un carrello elevatore o di un transpallet. Un pallet è detto a due, o a quattro vie, a seconda che permetta il passaggio delle forche solo sui due lati opposti o su tutti i quattro lati. Inoltre, un pallet si definisce reversibile se entrambi i piani, superiore ed inferiore, possono essere utilizzati indifferentemente come base di appoggio. Al contrario sono non reversibili se la conformazione delle tavole permette il carico solo sul piano superiore. Solitamente il piano di carico è formato da tavole regolarmente distanziate, ma si possono avere anche pallet con piano di carico formato da una superficie piana (es. pallet espositori e pallet personalizzati).



Definendo i pallet in base al loro impiego, e prendendo spunto dalla classificazione operata da Federlegno-Arredo, è possibile infine distinguere:

- pallet a perdere: destinati a essere impiegato per un solo ciclo di utilizzazione (es. quelli utilizzati nel settore ortofrutta);
- pallet riutilizzabile: destinati a compiere più cicli di utilizzazione;
- pallet a uso interno: con un uso limitato ad una sola azienda;
- pallet interscambiabili: in base a specifici accordi possono essere scambiati con pallet di pari caratteristiche, definite a livello di standard. Il titolo di possesso è detenuto da colui che acquista il pallet e ne resta proprietario finché un soggetto terzo non ne riscatta il titolo mediante pagamento di una somma pattuita. In caso contrario il pallet resta del proprietario iniziale e si muove lungo la filiera fino a tornare dal proprietario.

Il pallet EUR-Epal, di dimensioni 800 x 1200 mm, adottato da 19 reti ferroviarie europee con la terminologia di “europeo” è marcato con la sigla Eur racchiusa in un ovale. Si tratta di un pallet piatto a quattro vie, riutilizzabile, concepito per poter sopportare una massa compatta di 1.500 kg uniformemente distribuita, realizzato sulla base di un preciso capitolato tecnico che stabilisce le caratteristiche degli elementi, le tolleranze dimensionali, la posizione dei chiodi, l’umidità del legno e tanti altri vincoli e requisiti tecnici. Anche l’industria chimica, a partire dagli anni '70, ha standardizzato i pallet con l’obiettivo di ridurre le varietà. Attualmente sono utilizzati nove tipi di pallet contrassegnati dai numeri "CP1" sino al "CP9”.

I pallet Standard (Epal e CP) rappresentano il 20% del parco italiano e rispondono in modo ottimale alle esigenze dell’industria e degli operatori logistici che li devono movimentare, incrementando la stabilità dell’unità di carico e rendendo i processi di scarico e carico più efficienti.

### **3.3 L’interscambio come modalità di gestione del pallet**

Nel settore della distribuzione italiana, l’interscambio rappresenta la metodologia di gestione del pallet più utilizzata. Il sistema prevede la restituzione di un numero di pallet equivalente al numero ricevuto: la restituzione può avvenire contestualmente alla consegna, in questo caso si parla di interscambio immediato o, in alternativa, può avvenire in un momento successivo. Quest’ultimo metodo, l’interscambio differito, genera oneri e costi aggiuntivi per chi si trova a monte della filiera (produttori o operatori logistici). Qualora la restituzione venga posticipata è possibile ricorrere all’utilizzo di 'buoni pallet', crediti che il destinatario rilascia a chi ha fornito il pallet, nei quali è riportato il numero di pallet EUR-Epal ricevuti, ma non restituiti. Tale documento rappresenta un “debito” in termini di pallet EUR-Epal da ricevere e, in quanto tale, deve essere adeguatamente registrato e contabilizzato. Pertanto,

l'intestazione dei buoni pallet è un aspetto di massima importanza, poiché identifica il soggetto su cui andrà a gravare il rischio del mancato recupero. Gli attori coinvolti nel processo logistico sono maggiormente orientati verso la procedura di interscambio differito. L'operatore logistico stipula, quindi, accordi con i suoi committenti e i punti di consegna finali (Centri di distribuzione Ce.Di o punti vendita) per l'utilizzo dei 'buoni pallet' e per concordare l'entità di eventuali franchigie, forme di tutela da perdite fisiologiche in termini di pallet.

### **3.4 Obiettivo della simulazione**

L'obiettivo della simulazione è quello di modellare la gestione del magazzino di un provider logistico in un orizzonte temporale adeguato, in modo da misurare le prestazioni di interesse, correggere eventuali colli di bottiglia, assegnare le risorse in modo ottimale e valutare possibili scenari alternativi.

Per fare questo verrà analizzato il caso in esame partendo da alcune ipotesi iniziali. Viene poi approfondito lo studio dei committenti e delle consegne che l'operatore dovrà effettuare e, una volta chiariti i compiti da svolgere in un determinato arco temporale, vengono fatte alcune stime di costi di gestione e trasporto a carico del provider logistico. Prima di procedere alla simulazione è necessario mappare le fasi del processo di gestione, così da avere una chiara visione dei flussi di pallet pieni e vuoti e delle risorse assorbite. A questo punto le informazioni sul modello reale saranno tali da riuscire a costruire un modello teorico in linguaggio Arena.

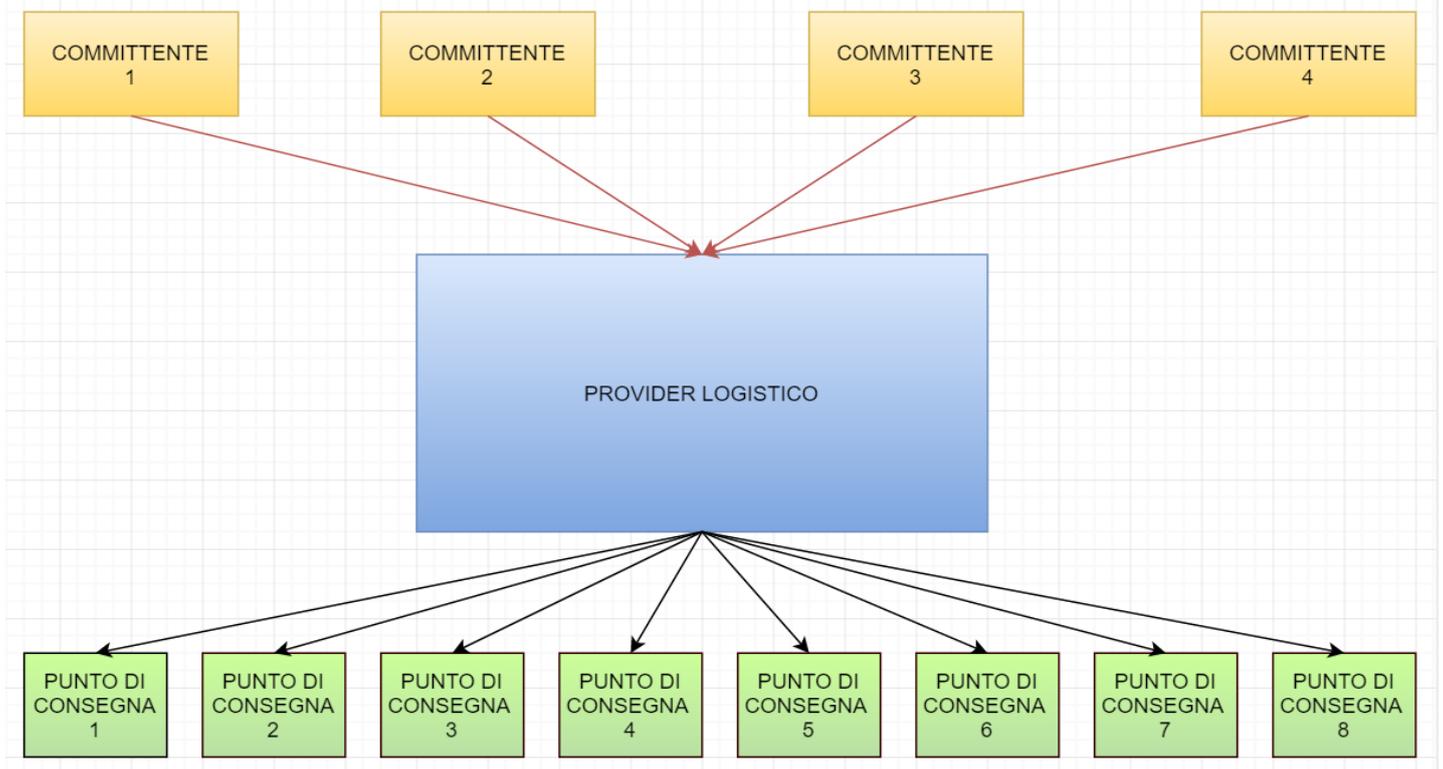
## 4. CASO DI STUDIO

L'analisi viene svolta su un ipotetico magazzino pilota di un operatore logistico in cui sono gestiti i prodotti finiti di quattro committenti, aziende di produzione di beni di largo consumo.

Le ipotesi adottate per lo studio sono le seguenti:

- Consideriamo un solo magazzino pilota per l'operatore logistico;
- I pallet vengono forniti in comodato d'uso; l'operatore logistico possiede comunque un polmone operativo per sopperire a eventuali esigenze di restituzione immediata dei pallet da parte del committente;
- Qualora non sia possibile fornire il quantitativo di pallet in maniera immediata al committente, l'operatore si tutela contrattualmente richiedendo il riconoscimento della franchigia attiva (percentuale dei pallet ricevuti che l'operatore non è obbligato a restituire al committente);
- L'attività di trasporto verso i punti di consegna è gestita interamente dal provider logistico;
- L'interscambio viene effettuato anche per il recupero dei pallet vuoti, in prossimità dei punti di consegna; nel caso di interscambio differito, una volta terminato lo scarico viene consegnato al trasportatore un "buono pallet" intestato all'operatore che corrisponde al debito in termini di numero di pallet consegnati con la merce. Al momento della ricezione della merce, il punto di consegna restituisce i pallet dell'ordine precedente, saldando così il buono pallet e stipulandone uno corrispondente all'ordine attuale;
- Quando parte un trasporto verso un determinato punto di consegna, tale trasporto è finalizzato al solo scarico delle unità di carico (UDC) presso quel destino ed al ritorno di pallet vuoti. Questa ipotesi semplifica in maniera consistente la simulazione, in quanto non viene considerata la possibilità di combinare viaggi che interessino due punti di consegna differenti;
- La distanza con il magazzino pilota, il tempo che deve intercorrere tra due consegne successive e l'entità dell'ordine sono dati noti a priori per ogni punto di consegna;
- I pallet utilizzati sono pallet EUR-Epal 80 x 120 cm e pallet CP1 100 x 120 cm;
- Per quanto riguarda i mezzi di trasporto, ogni mezzo (autoarticolato o autocarro) avrà dei vincoli in termini di capacità di peso e di volume che devono essere rispettati. Il camion può quindi contenere UDC fin quando non viene raggiunto il massimo volume utile o il massimo peso trasportabile;

Il caso di studio prende in considerazione i lotti ricevuti da quattro committenti (C1, C2, C3, C4): all'interno del magazzino del provider logistico, le UDC vengono suddivise per punto di consegna a cui sono destinate. I punti di consegna in totale sono otto: tre (P1, P2, P3) corrispondenti a centri della grande distribuzione organizzata, GDO, cinque (P4, P5, P6, P7, P8) magazzini di clienti dei committenti o punti di vendita.



Ciascun committente ha esigenze a servire determinati punti di consegna, in particolare:

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	
C1	1	1	0	1	1	0	0	0	
C2	1	1	0	0	1	1	0	0	
C3	0	0	1	0	0	1	1	0	
C4	0	0	1	0	0	0	1	1	
i= committenti		i=1,...,4							
j= punti di consegna		j=1,...,8							
x <sub>ij</sub> = 0	se il committente i non serve il punto di consegna j								
x <sub>ij</sub> = 1	se il committente i serve il punto di consegna j								

## 4.1 Committente 1

Sono riportati di seguito i dati delle consegne al magazzino pilota del provider logistico da parte del committente 1:

dimensione pallet (mm)		800 (a)	1200 (b)	1450 (h)	
dimensione collo (mm)		400	200	600	
unità di carico per lotto		60			
<b>COLLI PER LIVELLO</b>					
	colli/latoa		colli/latob		colli/livelloUDC
opzione1	2	2	6	6	12
opzione2	4	4	3	3	12
<b>LIVELLI PER UDC</b>					
	livelli/UDC	2,41667	2		
<b>COLLI PER UDC</b>					
	colli/UDC	24			
PESO COLLO (kg)	50				
PESO PALLET (kg)	20				
PESO UDC (kg)	1220				
PESO LOTTO (kg)	73200				
COLLI PER LOTTO	1440				

Con il termine ‘collo’ è indicato l’imballaggio secondario del prodotto che il committente distribuisce. Sono analizzate due diverse opzioni di disposizione dei colli all’interno della paletta per trovare la configurazione ottima che consente il miglior riempimento, cioè il maggior numero di colli per livello:

- Nella prima opzione viene posizionato il lato da 400mm del collo lungo il lato da 800mm del pallet;
- Nella seconda opzione, al contrario, viene posizionato il lato da 200mm del collo lungo il lato da 800mm del pallet;

Per ogni unità di carico (colli e pallet), si hanno due livelli di colli, consentiti dall’altezza massima che può raggiungere l’unità di carico (1450mm) e dalla resistenza del materiale di cui è costituito il prodotto (che quindi è in grado di supportare il peso del secondo livello). Anche il peso che può sostenere la paletta è rispettato.

Il peso del collo e della paletta sono informazioni date a priori. Il peso dell’unità di carico è dato dalla somma tra il numero di colli per unità di carico per il peso di ciascun collo e il peso della paletta:

$$Peso\ UDC = (50 \times 24) + 20 = 1220kg$$

Il peso del lotto è dato dal prodotto tra il peso della singola unità di carico per il numero di unità di carico contenute in un lotto:

$$Peso\ Lotto = 1220 \times 60 = 73200kg$$

Il numero di colli per lotto è determinato dal prodotto tra il numero di colli per unità di carico per il numero di unità di carico in un lotto:

$$Numero\ Colli = 24 \times 60 = 1440$$

Il committente 1 serve quattro punti di consegna, secondo le esigenze di ciascuno di essi.

	UDC	COLLI	Peso Carico (kg)	Superficie Carico (m <sup>2</sup> )
punto1	28	672	34160	26,88
punto2	18	432	21960	17,28
punto4	8	192	9760	7,68
punto5	6	144	7320	5,76

I dati sul peso del carico e sulla superficie occupata dallo stesso, che dal singolo committente arrivano allo specifico punto di consegna, saranno utili per il calcolo dei vincoli di peso e area che il mezzo dell'operatore logistico metterà a disposizione per il trasporto.

## 4.2 Committente 2

Sono riportati di seguito i dati delle consegne al magazzino pilota del provider logistico da parte del committente 2:

dimensione pallet (mm)		800 (a)	1200 (b)	1450 (h)
dimensione collo (mm)		600	200	500
unità di carico per lotto		50		
<b>COLLI PER LIVELLO</b>				
	colli/latoa		colli/latob	colli/livelloUDC
opzione1	1,333333	1	6	6
opzione2	4	4	2	8
<b>LIVELLI PER UDC</b>		livelli/UDC	2,9	2
<b>COLLI PER UDC</b>		colli/UDC	16	
PESO COLLO (kg)		55		
PESO PALLET (kg)		20		
PESO UDC (kg)		900		
PESO LOTTO (kg)		45000		
COLLI PER LOTTO		800		

Il committente 2 serve quattro punti di consegna, secondo le esigenze di ciascuno di essi.

	UDC	COLLI	Peso Carico (kg)	Superficie Carico (m <sup>2</sup> )
punto1	18	288	16200	17,28
punto2	8	288	16200	17,28
punto5	7	112	6300	6,72
punto6	7	112	6300	6,72

### 4.3 Committente 3

Sono riportati di seguito i dati delle consegne al magazzino pilota del provider logistico da parte del committente 3:

dimensione pallet (mm)		1000 (a)	1200 (b)	1450 (h)
dimensione collo (mm)		300	200	490
unità di carico per lotto		40		
<b>COLLI PER LIVELLO</b>				
	colli/latoa		colli/latob	colli/livelloUDC
opzione1	3,333333	3	6	6
opzione2	5	5	4	4
<b>LIVELLI PER UDC</b>				
	livelli/UDC	2,959184	2	
<b>COLLI PER UDC</b>				
	colli/UDC	40		
PESO COLLO (kg)		40		
PESO PALLET (kg)		20		
PESO UDC (kg)		1620		
PESO LOTTO (kg)		64800		
COLLI PER LOTTO		1600		

Il committente 3 consegna le unità di carico imballate in pallet di dimensioni differenti rispetto ai due precedenti committenti. Inoltre, due dei punti di consegna serviti dal committente 3 utilizzano sistemi di movimentazione non compatibili con questo tipo di paletta: sarà necessario quindi cambiare il supporto in uno di dimensioni 800x1200 mm.

Senza considerare il cambio di pallet, le esigenze dei punti di consegna serviti dal committente 3 sono:

	UDC	COLLI	Peso Carico (kg)	Superficie Carico (m <sup>2</sup> )
punto3	24	960	38880	28,8
punto6	8	320	12960	9,6
punto7	8	320	12960	9,6

Per il punto di consegna 6 e 7 viene cambiata la paletta di supporto. Risulta necessario calcolare la nuova configurazione, i pesi e le superfici per questi due carichi.

dimensione pallet (mm)		800 (a)	1200 (b)	1450 (h)
dimensione collo (mm)		300	200	490
<b>COLLI PER LIVELLO</b>				
	colli/latoa		colli/latob	colli/livelloUDC
opzione1	4	4	4	16
opzione2	2,666667	2	6	12
<b>LIVELLI PER UDC</b>		livelli/UDC	2,959184	2
<b>COLLI PER UDC</b>		colli/UDC	32	
<b>UDC PER ORDINE</b>		UDC/ordine	10	

Le unità di carico per ordine vengono calcolate come il quoziente tra il numero di colli che il punto di consegna deve ricevere e i colli per unità di carico, calcolati con la nuova configurazione:

$$UDC \text{ per Ordine} = \frac{320}{32} = 10$$

I pesi e le superfici occupate finali saranno:

	UDC	COLLI	Peso Carico (kg)	Superficie Carico (m <sup>2</sup> )
punto3	24	960	38880	28,8
punto6	10	320	13000	9,6
punto7	10	320	13000	9,6

Si noti che il peso è aumentato in quanto è aumentato il numero di pallet da utilizzare a parità di colli da trasportare (i pallet nuovi hanno dimensioni inferiori, ma il peso viene considerato indicativamente uguale). La superficie risulta essere la stessa poiché aumenta il numero di pallet e, al contempo, diminuisce la superficie occupata da ciascuno di essi.

#### 4.4 Committente 4

Sono riportati di seguito i dati delle consegne al magazzino pilota del provider logistico da parte del committente 4:

dimensione pallet (mm)		800 (a)	1200 (b)	1450 (h)
dimensione collo (mm)		600	200	550
unità di carico per lotto		45		
<b>COLLI PER LIVELLO</b>				
	colli/latoa	colli/latob	colli/livelloUDC	
opzione1	1,333333	1	6	6
opzione2	4	4	2	8
<b>LIVELLI PER UDC</b>		livelli/UDC	2,636364	2
<b>COLLI PER UDC</b>		colli/UDC	16	
PESO COLLO (kg)		52		
PESO PALLET (kg)		20		
PESO UDC (kg)		852		
PESO LOTTO (kg)		38340		
COLLI PER LOTTO		720		

Il committente 4 serve tre punti di consegna, tra i quali il 3 che possiede sistemi per la movimentazione e lo stoccaggio di pallet di dimensioni 1000x1200 mm. Risulta quindi necessario cambiare la paletta e calcolare la nuova configurazione, i pesi e le superfici per le unità di carico con tale destino.

Senza considerare il cambio di pallet, le esigenze dei punti di consegna serviti dal committente 4 sono:

	UDC	COLLI	Peso Carico (kg)	Superficie Carico (m <sup>2</sup> )
punto3	20	320	17040	19,2
punto7	13	208	11076	12,48
punto8	12	192	10224	11,52

La nuova configurazione per il punto di consegna 3 risulta essere:

dimensione pallet (mm)		1000 (a)	1200 (b)	1450 (h)
dimensione collo (mm)		600	200	550
<b>COLLI PER LIVELLO</b>				
	colli/latoa		colli/latob	colli/livelloUDC
opzione1	5	5	2	2
opzione2	1,666667	1	6	6
<b>LIVELLI PER UDC</b>		livelli/UDC	2,636364	2
<b>COLLI PER UDC</b>		colli/UDC	20	
<b>UDC PER ORDINE</b>		UDC/ordine	16	

I pesi e le superfici occupate finali saranno:

	UDC	COLLI	Peso Carico (kg)	Superficie Carico (m <sup>2</sup> )
punto3	16	320	16960	19,2
punto7	13	208	11076	12,48
punto8	12	192	10224	11,52

Si noti che il peso è diminuito in quanto è diminuito il numero di pallet da utilizzare a parità di colli da trasportare (i pallet nuovi hanno dimensioni maggiori). La superficie risulta essere la stessa poiché diminuisce il numero di pallet e, al contempo, aumenta la superficie occupata da ciascuno di essi.

## 4.5 Matrici

- Pesì totali dei carichi scambiati tra ciascun committente e punto di consegna risultano:

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
C1	34160	21960	0	9760	7320	0	0	0
C2	16200	16200	0	0	6300	6300	0	0
C3	0	0	38880	0	0	13000	13000	0
C4	0	0	16960	0	0	0	11076	10224
<b>TOT (kg)</b>	50360	38160	55840	9760	13620	19300	24076	10224

La riga TOT (kg) rappresenta il totale, in peso, trasportato dal provider logistico verso ciascun punto di consegna.

- Superfici totali occupate dai carichi scambiati tra ciascun committente e punto di consegna:

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
C1	26,88	17,28		7,68	5,76			
C2	17,28	17,28			6,72	6,72		
C3			28,8			9,6	9,6	
C4			19,2				12,48	11,52
<b>TOT (m<sup>2</sup>)</b>	44,16	34,56	48	7,68	12,48	16,32	22,08	11,52

La riga TOT (m<sup>2</sup>) rappresenta il totale di superficie occupata nel trasporto dal magazzino del provider logistico verso ciascun punto di consegna.

- Numero totale di unità di carico scambiate tra ciascun committente e punto di consegna

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
C1	28	18	0	8	6	0	0	0
C2	18	18	0	0	7	7	0	0
C3	0	0	24	0	0	10	10	0
C4	0	0	16	0	0	0	13	12
<b>TOT</b>	46	36	40	8	13	17	23	12

La riga TOT rappresenta il numero totale di unità di carico che vengono trasportate dall'operatore logistico verso ciascun punto di consegna.

## 4.6 Mezzi di trasporto

Il provider logistico ha a disposizione due differenti tipologie di mezzi di trasporto:

- Autocarro a due assi

Carico massimo 18 tonnellate. Dimensioni utili  $5,8 \times 2,55 \times 2,5$  m<sup>3</sup>. Calcolerò 60 m<sup>3</sup> di volume utile ( $5,8 \times 2 \times 2$ ) considerando un gioco in altezza di 0,5m e un gioco complessivamente sulla larghezza di 0,55m.

- Autoarticolato a tre assi

Carico massimo 30 tonnellate. Dimensioni utili  $9 \times 2,55 \times 2,5$  m<sup>3</sup>. Calcolerò 80 m<sup>3</sup> di volume utile ( $9 \times 2 \times 2$ ) considerando un gioco in altezza di 0,5m e un gioco complessivamente sulla larghezza di 0,55m.

## 5. STIME DEI COSTI

### 5.1 Voci di costo per la gestione del parco pallet

- Costo dell'investimento nel parco pallet nell'orizzonte temporale considerato: i committenti forniscono in comodato d'uso il parco pallet al provider logistico il quale però detiene la proprietà di un polmone operativo che viene soggetto a un costo annuo;
- Costo di reintegro: relativo agli esborsi annuali legati all'acquisto di pallet e/o alla estinzione dei debiti verso i committenti;
- Costo di riparazione e/o smaltimento: tale costo risulta essere nullo poiché l'operatore logistico dispone di un accordo con il proprio commerciante grazie al quale avviene il baratto dei pallet che hanno subito un danneggiamento con altri disponibili all'uso (4 EUR-Epal rotti per 1 EUR-Epal usato è il criterio più diffuso);
- Costo della gestione fisica: stimato sul numero di risorse umane impiegate presso il magazzino per la gestione fisica del pallet (ispezione dei pallet pieni e vuoti, selezione e movimentazione dei vuoti). Viene incluso anche il costo dei carrelli e di altre attrezzature per la gestione fisica dei pallet vuoti. In linea generale, maggiore è il flusso di pallet del magazzino campione più il costo unitario di questa attività si riduce, in virtù delle economie di scala;
- Costo area di stoccaggio della merce e dei pallet vuoti: calcolato in base alla superficie destinata allo stoccaggio temporaneo delle UDC e dei pallet vuoti presso il magazzino, comprese le aree di accesso e manovra, valutata sulla base del canone di affitto annuo corrisposto dall'operatore logistico e riferito alle aree, siano esse coperte o scoperte;
- Costo della gestione amministrativa: valorizzato sulla base del costo aziendale delle risorse umane impiegate presso la sede centrale dell'operatore logistico per le funzioni amministrative legate alla gestione dei pallet: dalla contabilità dei buoni al rapporto con i riparatori di pallet. Comprende anche la quota dei sistemi informativi dedicati a supportare gli addetti nel controllo e nella contabilità di pallet e buoni verso fornitori e punti di consegna.

## 5.2 Costi di trasporto

I trasporti verso i punti di consegna vengono gestiti dal provider logistico utilizzando mezzi di proprietà.

La decisione del tipo di mezzo da utilizzare per realizzare un determinato viaggio e il numero di mezzi di quel tipo viene presa secondo il criterio di minimizzazione dei costi di trasporto. Si hanno a disposizione due tipi di mezzi con differenti capacità (autocarro e autoarticolato). Chiaramente il mezzo con maggior capacità ha un costo complessivo (fisso e variabile) maggiore rispetto a quello di minor capacità. L'obiettivo è quello di determinare il modo ideale per trasportare ogni carico verso un punto di consegna (consistenza dell'ordine fissa) in modo da minimizzare i costi di trasporto. I tipi di vincoli saranno due: uno sul peso del carico e l'altro sull'occupazione volumetrica disponibile.

Per il calcolo dei costi fissi e variabili di trasporto è stata calcolata una stima a partire dalle seguenti voci di costo:

- Costi fissi:
  - Frazione del costo di ammortamento per viaggio;
  - Frazione del costo di assicurazione e bollo per viaggio;
- Costi variabili:
  - Valore indicativo al km del costo pneumatici
  - Valore indicativo della tariffa al km media autostradale
  - Valore di riferimento del costo di gasolio al km
  - Valore indicativo orario del costo del lavoro

Si avranno due valori diversi per ciascuna voce di costo in base al tipo di mezzo (autocarro o autoarticolato), fatta eccezione per il valore del costo orario del lavoro, che si suppone lo stesso per entrambi.

	autocarro	autoarticolato
costi variabili	1,202	1,3
costi fissi	20	25
Cpeso (kg)	18000	30000
Csup (m <sup>2</sup> )	11,6	18
Corario(€/h)	22	22

Con Cpeso è indicata la capacità in peso del mezzo, mentre con Csup la capacità in superficie disponibile per il carico. Viene considerata la capacità superficiale e non quella volumetrica poiché le unità di carico hanno un'altezza troppo elevata perché se ne possano impilare due livelli.

Per calcolare quanti mezzi di ogni tipo si devono impiegare per il trasporto verso ciascun punto di consegna, è necessario calcolare il rapporto tra il peso del carico totale e la capacità in peso del mezzo e il rapporto tra la superficie occupata dal carico e la capacità in superficie del mezzo e considerare il rapporto maggiore (fattore limitante).

$$\# \text{ Autocarri} = \max\left(\frac{\text{Peso tot Carico}}{C \text{ peso Autocarro}}; \frac{\text{Sup tot Carico}}{C \text{ sup Autocarro}}\right)$$

$$\# \text{ Autoarticolati} = \max\left(\frac{\text{Peso tot Carico}}{C \text{ peso Autoarticolato}}; \frac{\text{Sup tot Carico}}{C \text{ sup Autoarticolato}}\right)$$

	Q in peso	Q in sup	# autocarri	# intero	# autoarticolati	# intero
carico1	50360	44,16	3,806897	4	2,453333	3
carico2	38160	34,56	2,97931	3	1,92	2
carico3	55840	48	4,137931	5	2,666667	3
carico4	9760	7,68	0,662069	1	0,426667	1
carico5	13620	12,48	1,075862	2	0,693333	1
carico6	19300	16,32	1,406897	2	0,906667	1
carico7	24076	22,08	1,903448	2	1,226667	2
carico8	10224	11,52	0,993103	1	0,64	1

Al fine di considerare l'opzione migliore per ciascun caso, si calcola una funzione di costo per ogni punto di consegna e per ogni opzione di trasporto. La funzione di costo, considerando la generica destinazione  $x$  e il mezzo  $y$ , è la seguente:

$$\text{costo}_{xy} = \left( \frac{\text{€}}{\text{km}} \times \frac{\text{km}}{\text{viaggio}} + \frac{\text{€}}{\text{viaggio}} + \frac{\text{€}}{h} \times \frac{h}{\text{viaggio}} \right) \times \#y_x$$

Dove:

- $\frac{\text{€}}{\text{km}} \times \frac{\text{km}}{\text{viaggio}}$  corrisponde al prodotto tra i costi variabili al  $\text{km}$  per il mezzo  $y$  e i  $\text{km}$  per raggiungere il punto di consegna  $x$ ;
- $\frac{\text{€}}{\text{viaggio}}$  corrisponde al costo fisso per l'automezzo  $y$ ;
- $\frac{\text{€}}{h} \times \frac{h}{\text{viaggio}}$  corrisponde al costo orario del lavoro per la durata, in ore, del viaggio verso il punto di consegna  $x$  (si ipotizza che i due mezzi abbiano la stessa velocità, e che quindi i tempi per viaggio siano gli stessi e che il costo orario del lavoro sia lo stesso per entrambi i veicoli. Questo termine sarà quindi identico per entrambe le opzioni);

- $\#y_x$  corrisponde al numero di mezzi di tipo  $y$  che vengono impiegati per il trasporto verso il punto di consegna  $x$ .

I costi, per entrambe le opzioni, autocarro e autoarticolato, sono:

	costo opzione Autocarro	costo opzione Autoarticolato
carico verso P1	3059,2	2427
carico verso P2	2379,64	1678
carico verso P3	5551,6	3540
carico verso P4	276,28	295
carico verso P5	482,48	258
carico verso P6	880,96	469
carico verso P7	714,72	760
carico verso P8	650,72	691
costo minimo		
<b>costo totale</b>	<b>10013,72</b>	

Vengono quindi scelti i seguenti tipi di trasporti:

	mezzi	riempimento %
punto 1	3 autoarticolati	82
punto 2	2 autoarticolati	96
punto 3	3 autoarticolati	89
punto 4	1 autocarro	66
punto 5	1 autoarticolato	69
punto 6	1 autoarticolato	91
punto 7	2 autocarri	95
punto 8	1 autocarro	99

Volendo migliorare il coefficiente di riempimento percentuale, abbassando i costi, è possibile agire sul trasporto verso il punto di consegna 1, sostituendo uno dei tre autoarticolati con un autocarro. In questo modo:

	autoarticolato1	autoarticolato2	autocarro1	totale
Superficie occupata (m <sup>2</sup> )	18	18	8,16	
coefficiente occupazionale	1	1	0,703448	0,927731
costo €	809	809	764,8	2382,8
costo con tre autoarticolati €				2427
differenza di costo €				44,2
<b>costo totale con nuova soluzione €</b>				<b>9969,52</b>

Il trasporto finale avviene con l'utilizzo dei seguenti mezzi:

	mezzi	riempimento %
punto 1	2 autoarticolati + 1 autocarro	93
punto 2	2 autoarticolati	96
punto 3	3 autoarticolati	89
punto 4	1 autocarro	66
punto 5	1 autoarticolato	69
punto 6	1 autoarticolato	91
punto 7	2 autocarri	95
punto 8	1 autocarro	99

## 6. SCHEDULAZIONE DEI VEICOLI

### 6.1 Calendario delle consegne

Il lavoro del provider logistico, nell'arco di una settimana, per rispondere alle esigenze dei punti di consegna P1, P2, P4 e P5 è suddiviso nel seguente modo:

- Consegna il lunedì notte/martedì mattina: questa consegna copre il fabbisogno di martedì e mercoledì;
- Consegna il mercoledì notte/giovedì mattina: questa consegna copre il fabbisogno di giovedì e venerdì.
- Consegna il venerdì notte/sabato mattina: questa consegna copre il fabbisogno di sabato, domenica e lunedì.

Al contrario, le spedizioni verso P3, P6, P8 e P7 sono gestite:

- Consegna martedì notte: questa consegna copre il fabbisogno di mercoledì e giovedì;
- Consegna giovedì notte: questa consegna copre il fabbisogno di venerdì, sabato;
- Consegna sabato notte: questa consegna copre il fabbisogno di domenica e lunedì e martedì.

L'orizzonte temporale della simulazione è di due giorni: lunedì-martedì:

- Lunedì mattina alle 6.00 arriva il lotto del committente 1
- Lunedì mattina alle 10.00 arriva il lotto del committente 2
- Lunedì sera alle 18.00 parte l'ordine verso P4
- Lunedì sera alle 19.00 parte l'ordine verso P5
- Lunedì sera alle 21.00 parte l'ordine verso P1
- Lunedì notte alle 2.30 parte l'ordine verso P2
- Martedì mattina alle 6.00 arriva il lotto del committente 3
- Martedì mattina alle 10.00 arriva il lotto del committente 4
- Martedì pomeriggio alle 14.00 parte l'ordine verso P7
- Martedì sera alle 17.30 parte l'ordine verso P6
- Martedì sera alle 20.00 parte l'ordine verso P8
- Martedì notte alle 00.30 parte l'ordine verso P3

### 6.2 Vertex Coloring Problem per l'assegnazione del veicolo

L'obiettivo è quello di limitare al minimo il numero di veicoli impiegati, nel rispetto delle date di consegna pattuite e della scelta del tipo di veicoli da utilizzare, realizzata precedentemente al fine di minimizzare i costi di trasporto finali. Per fare questo è utilizzato il modello matematico del *Vertex Coloring Problem*.

Questo modello utilizza un grafo non orientato,  $G=(V,E)$ , e assegna un colore ad ogni vertice in modo che vertici adiacenti abbiano colori diversi e che il numero di colori

usati sia il minimo. Si definisce grafo (G) un insieme di elementi detti nodi o vertici (V) che possono essere collegati fra loro da linee chiamate lati (E).

All'interno del problema, i vertici colorati rappresentano i diversi autocarri o autoarticolati, mentre i lati uniscono due autocarri o autoarticolati che non possono essere utilizzati insieme. Grazie al modello proposto dal *Vertex Coloring Problem* è minimizzato il numero di autocarri e autoarticolati che saranno impiegati (numero di colori utilizzati).

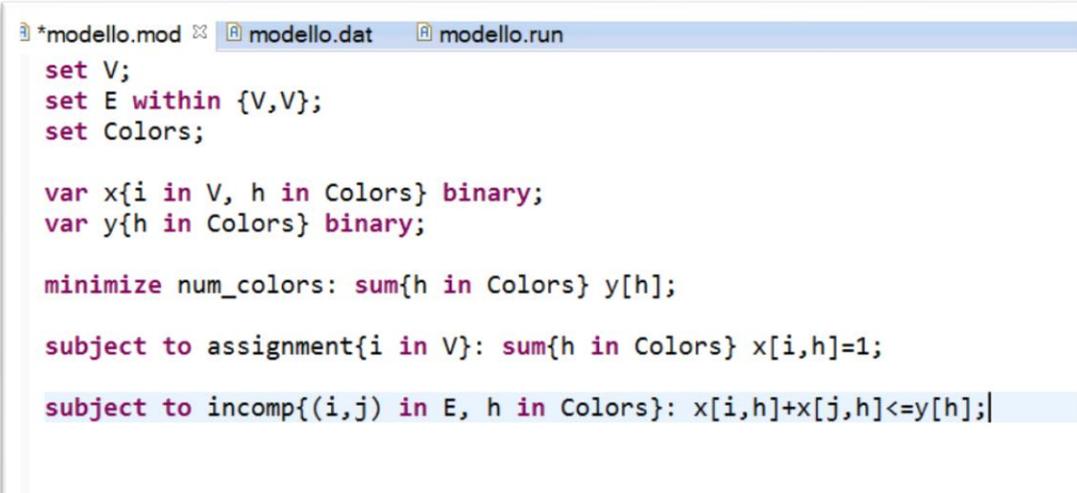
I modelli, uno per ciascun mezzo di trasporto, sono scritti e risolti in AMPL, un linguaggio di programmazione di alto livello, impiegato per risolvere complicati problemi decisionali mediante l'utilizzo di un risolutore.

Per ognuno dei problemi decisionali vengono creati tre file:

- File.mod: contenente la dichiarazione degli insiemi, dei parametri, delle variabili, della funzione obiettivo e dei vincoli;
- File.dat: contenente la definizione dei dati;
- File.run: contenente le istruzioni per eseguire il modello attraverso il comando 'include File.run; ', scritto nella Console di AMPL.

### 6.3 Scelta degli Autoarticolati

Sono riportati i tre file (.mod, .dat, .run) per la scelta del numero minimo di autoarticolati e la soluzione proposta:



```
*modello.mod  modello.dat  modello.run
set V;
set E within {V,V};
set Colors;

var x{i in V, h in Colors} binary;
var y{h in Colors} binary;

minimize num_colors: sum{h in Colors} y[h];

subject to assignment{i in V}: sum{h in Colors} x[i,h]=1;

subject to incompat{(i,j) in E, h in Colors}: x[i,h]+x[j,h]<=y[h];
```

Insiemi: set V= insieme dei vertici del grafo; set E = insieme degli archi, costituito da una coppia di vertici; set Colors = insieme dei colori utilizzati.

Variabili: var x è la variabile che ha valore 1 se il vertice i è del colore h, altrimenti ha valore 0; la variabile y ci dice se il colore h è utilizzato.

Funzione obiettivo: minimizza il numero di colori utilizzati.

Vincoli: il vincolo di assegnamento specifica che ogni vertice deve avere esattamente un colore; il vincolo di incompatibilità impone per due vertici adiacenti colori differenti.

\*modello.mod modello.dat modello.run

```
set Colors:= A B C D E F G H J;  
set V:= 1 2 3 4 5 6 7 8 9;  
set E:= 1 2  
        1 8  
        2 8  
        1 3  
        1 4  
        2 3  
        2 4  
        3 4  
        5 6  
        7 5  
        7 6;
```

set E: insieme degli archi che identifica i vertici che non possono avere lo stesso colore perché incompatibili (mezzi che non possono essere gli stessi per contemporaneità di consegna).

\*modello.mod modello.dat modello.run

```
model modello.mod;  
data modello.dat;  
option solver gurobi;  
solve;  
display num_colors;  
display x;  
display y;
```

Gurobi: risolutore utilizzato

```
Console
AMPL
ampl: include modello.run;
Gurobi 6.5.0: optimal solution; objective 4
43 simplex iterations
num_colors = 4

x [*,*]
:  A  B  C  D  E  F  G  H  J  :=
1  0  0  0  1  0  0  0  0
2  0  0  0  0  0  0  0  1  0
3  1  0  0  0  0  0  0  0  0
4  0  0  0  0  0  1  0  0  0
5  0  0  0  0  0  1  0  0  0
6  0  0  0  0  0  0  0  1  0
7  1  0  0  0  0  0  0  0  0
8  1  0  0  0  0  0  0  0  0
9  1  0  0  0  0  0  0  0  0
;

y [*] :=
A 1
B 0
C 0
D 1
E 0
F 1
G 0
H 1
J 0
;

ampl:
```

Secondo la soluzione sono sufficienti quattro mezzi di questo tipo, in particolare il mezzo A, D, F, H, per soddisfare le date di consegna.

#### 6.4 Scelta degli autocarri

Sono riportati, ugualmente a prima, i tre file (.mod, .dat, .run) per la scelta del numero minimo di autocarri e la soluzione proposta:

```
*modello2.mod  x  modello2.dat  modello2.run
set V;
set E within {V,V};
set Colors;

var x{i in V, h in Colors} binary;
var y{h in Colors} binary;

minimize num_colors: sum{h in Colors} y[h];

subject to assignment{i in V}: sum{h in Colors} x[i,h]=1;

subject to incomp{(i,j) in E, h in Colors}: x[i,h]+x[j,h]<=y[h];
```

```
*modello.mod  modello.dat  x  modello.run
set Colors:= A B C D E F G H J;
set V:= 1 2 3 4 5 6 7 8 9;
set E:= 1 2
      1 8
      2 8
      1 3
      1 4
      2 3
      2 4
      3 4
      5 6
      7 5
      7 6;
```

```
*modello.mod  modello.dat  modello.run  ✕  
model modello.mod;  
data modello.dat;  
option solver gurobi;  
solve;  
display num_colors;  
display x;  
display y;
```

```
Console  
AMPL  
ampl: include modello2.run;  
Gurobi 6.5.0: optimal solution; objective 3  
13 simplex iterations  
num_colors = 3  
  
x [*,*]  
:   I   L   M   N   O   :=  
1   0   0   0   0   1  
2   1   0   0   0   0  
3   0   1   0   0   0  
4   1   0   0   0   0  
5   0   0   0   0   1  
;  
  
y [*] :=  
I 1  
L 1  
M 0  
N 0  
O 1  
;  
  
ampl: |
```

Secondo la soluzione sono sufficienti tre mezzi di questo tipo, in particolare il mezzo I, L, O per soddisfare le date di consegna.

### 6.5 Configurazione finale delle consegne

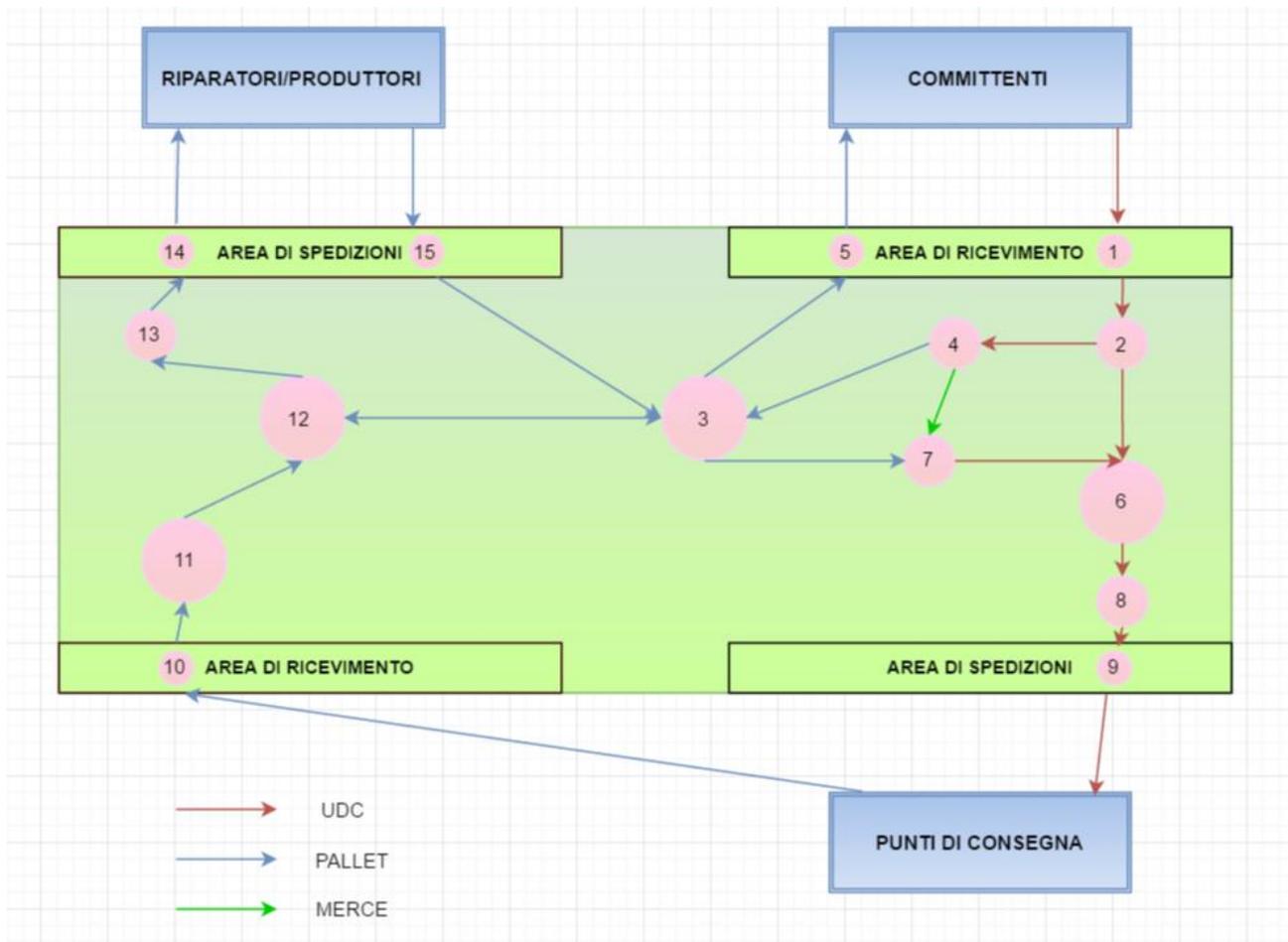
TRASPORTO	T MIN	T MAX	MEZZI
punto di consegna 1	11,5	12	autoarticolatoD-autoarticolatoH-autocarroO
punto di consegna 2	10	11	autoarticolatoA-autoarticolatoF
punto di consegna 3	13	13,5	autoarticolatoF-autoarticolatoH-autoarticolatoA
punto di consegna 4	3,5	4	autocarrol
punto di consegna 5	3	3,5	autoarticolatoA
punto di consegna 6	5,5	6	autoarticolatoA
punto di consegna 7	5	5,5	autocarrol-autocarrol
punto di consegna 8	8,5	9	autocarroO

I tempi, in ore, sono calcolati in funzione delle distanze e delle velocità stimate.

## 7. FORMULAZIONE DEL MODELLO DI SIMULAZIONE

### 7.1 Processo di gestione

Con lo scopo di mappare i flussi di pallet pieni e vuoti, le risorse assorbite e i costi associati, individuiamo le fasi del processo di gestione.



Il committente scarica il lotto di unità di carico pallettizzate al magazzino pilota dell'operatore logistico (1). Una volta ricevute, le UDC vengono introdotte in una zona di controllo e registrazione (2): se queste devono essere ri-pallettizzate vengono movimentate in un'area di spaccettamento della merce (4), altrimenti passano direttamente nella zona adibita allo stock (6).

Il committente ha esigenze ad attuare un interscambio immediato, cioè ad ottenere un numero di pallet vuoti equivalente a quello rilasciato, che comprende i pallet utilizzati per l'imballaggio della merce. Le palette di carico provenienti da un polmone operativo (3) vengono quindi trasportate nell'area ricevimento (5) per essere caricate sui camion del cliente. Se tale servizio non fosse disponibile, l'interscambio differito viene gestito attraverso l'utilizzo di 'buoni pallet', equivalenti a debiti, in termini di numero di pallet, che il provider logistico dovrà devolvere al suo committente.

Per quanto riguarda le unità di carico che devono subire il cambio del tipo di paletta, la merce spaccettata viene portata in una zona di ripristino ordini (7) attraverso rulli o nastri trasportatori. In quest'area vengono ri-pallettizzati i lotti con pallet provenienti dal polmone operativo (3); infine, anche queste UDC raggiungono l'ubicazione a stock (6).

Il magazzino del provider logistico viene gestito dividendo gli ordini per punti di consegna che devono raggiungere. Ogni punto di consegna stabilisce quanti lotti ricevere in un determinato periodo di tempo.

La decisione di che spedizione preparare avviene in base alla data e all'ora di consegna in cui deve essere ricevuto un determinato ordine.

Una volta pronto l'ordine (zona di preparazione ordine (8)), il caricamento sul mezzo di trasporto (9) avviene non appena vi sia la disponibilità dello stesso e, in base all'ordine richiesto dal punto di consegna, avrà bisogno del servizio di un diverso tipo di mezzo e di uno o più mezzi di quel determinato tipo.

Scelto il mezzo da utilizzare per effettuare una determinata consegna, partirà l'attività di caricamento dei lotti per tale trasporto. Una volta caricati, i mezzi partono verso gli specifici destini seguendo un percorso stabilito. Arrivati al punto di consegna i trasportatori scaricano la merce.

Per quanto riguarda la gestione di ritorno del pallet, qualora il soggetto debitore sia un Ce.Di. l'interscambio è differito (caso A), mentre nel caso in cui il soggetto debitore sia un punto vendita finale si ha l'interscambio immediato al momento della consegna (caso B).

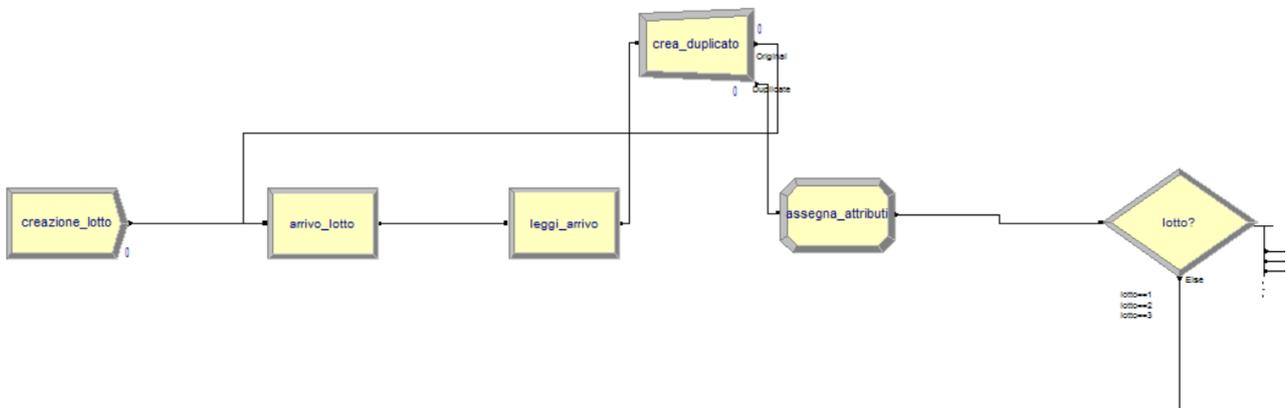
Nel caso A, una volta scaricata la merce, viene rilasciato un 'buono pallet' dal punto di consegna al provider logistico: in questo buono si indica il numero preciso di pallet che il Ce.Di. è obbligato a restituire all'operatore ed è quindi assimilabile a un debito, che come tale deve essere contabilizzato. Verranno poi caricati sui mezzi i pallet vuoti che erano stati adibiti al trasporto della merce nell'ordine precedente a quel punto di consegna. Nel caso B invece, tra lo scarico delle UDC e il caricamento dei pallet vuoti, utilizzati per quel carico, intercorre l'intervallo di tempo minimo per consentire lo spaccettamento al punto vendita.

Rientrati nel magazzino pilota del provider logistico i pallet passano, dopo l'area di ricevimento (10) ad una fase di registrazione e ispezione (11), fino a giungere in una zona di separazione (12), dalla quale vi sono due vie possibili:

- Se il pallet risulta danneggiato viene portato in un'area di smaltimento (13): da qui ogni n pallet da smaltire parte un carico (14) che giunge a un riparatore, il quale, secondo un accordo stipulato con l'operatore, scambia un pallet nuovo con 4 danneggiati. I pallet rientrano poi in magazzino (15) e vanno direttamente al polmone operativo (3).

- Se il pallet risulta in buono stato invece viene condotto al polmone operativo (3), dal quale viene gestito, tra gli altri, l'interscambio con i clienti (5).

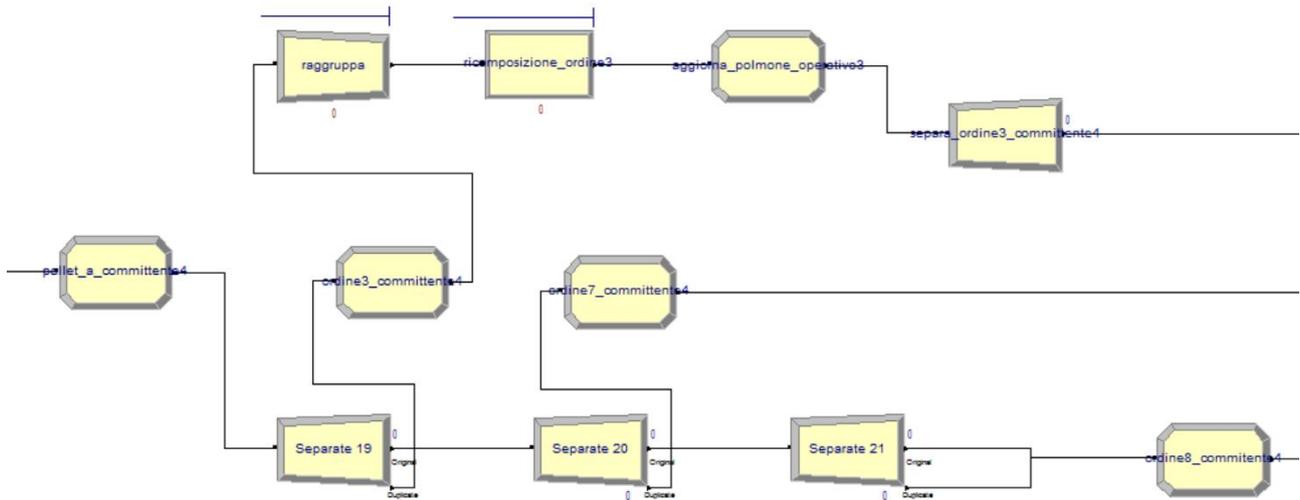
## 7.2 Arrivo dei lotti



Gli arrivi sono gestiti con il modulo *ReadWrite* mediante la lettura dei tempi da un foglio di calcolo Excel. Viene innanzi tutto creato il lotto attraverso il modulo *Create*: l'entità è rappresentata in realtà dalla singola unità di carico, che equivale, in questo caso, all'intero lotto ricevuto dal determinato committente. Con il modulo *ReadWrite* (*arrivo\_lotto*) viene aggiornato l'attributo *TempoSchedulazione* e con un modulo *Delay* (*leggi\_arrivo*) si ha il ritardo dell'arrivo al *TempoSchedulazione*, cioè l'istante di tempo in cui quel determinato lotto arriva nel sistema. Viene utilizzato poi un modulo *Separate* (*crea\_duplicato*) per creare un duplicato dell'entità che prosegue all'interno del modello, mentre l'entità originale torna a monte del modulo *ReadWrite* per iterare la procedura. Il duplicato passa per un modulo *Assign*, all'interno del quale viene assegnato l'attributo 'lotto' che specifica il lotto di appartenenza per quella determinata entità. Il modulo *Decide* chiede quale sia il numero del lotto, in modo da identificare il committente dal quale è stato ricevuto: da qui parte lo smistamento delle unità di carico in base al punto di consegna al quale sono destinate.

## 7.3 Smistamento a magazzino per punti di consegna

Passato il modulo *Decide* del blocco precedente si passa allo smistamento a magazzino e alla preparazione degli ordini. È di seguito analizzato lo smistamento a magazzino per punti di consegna nel caso delle unità di carico consegnate dal committente 4.



Per prima cosa, in un modulo *Assign*, viene dichiarato il tipo di pallet consegnato dal committente che, nel caso del committente 4, è un pallet di dimensioni 80cm x 120cm (pallet di tipo A). Vengono poi aggiornati i seguenti valori:

- Pallet\_A: pallet di tipo A presenti all'interno del polmone operativo che vengono decrementati di un numero corrispondente a quello impiegato in unità di carico consegnate. I committenti hanno la necessità di scambiare le unità di carico con pallet vuoti, disponibili a contenere la merce per il carico successivo;
- MerceA: quantità di unità di carico, che utilizzano come supporto un pallet di tipo A, presente a sistema che viene incrementata dell'entità dell'ordine ricevuto.

Il committente 4 consegna merce al punto 3, 7, 8. Poiché il punto 3 richiede che le unità di carico siano impacchettate su pallet di dimensione 100cm x 120cm (tipo B), è necessario spaccettare la merce e ricomporre l'ordine per quanto riguarda le entità con quel destino.

Da *Separate 19* le unità di carico destinate al punto 3 vengono raggruppate, per poi subire il processo di ricomposizione ordine e essere successivamente separate. Allo stesso tempo sarà necessario aggiornare il polmone operativo e la quantità di merce dei diversi tipi presenti a sistema:

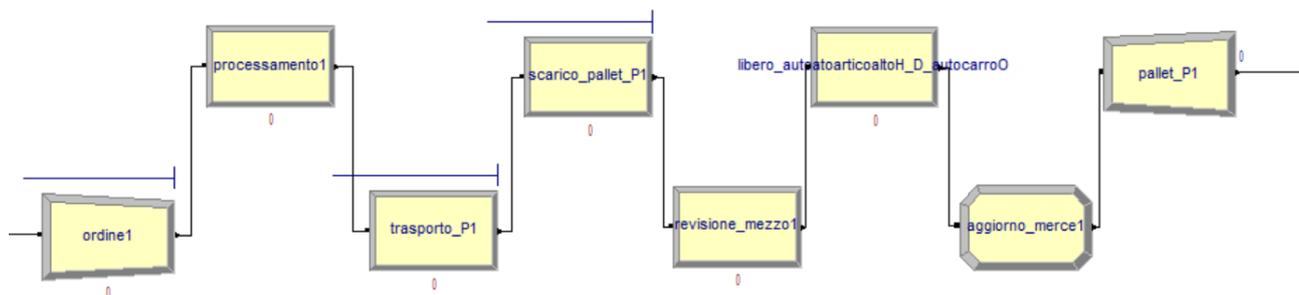
- Viene decrementato il numero di pallet di tipo B presente a polmone operativo e incrementato il numero di pallet di tipo A: da notare che il decremento e l'incremento non è lo stesso, in quanto sono necessari meno pallet di tipo B per contenere la merce di un certo numero di pallet di tipo A, essendo i primi di dimensioni maggiori.
- Viene, in egual maniera, decrementato e incrementato, rispettivamente, il numero di merce di tipo A e di merce di tipo B presente a sistema.

Per le unità di carico destinate ai punti di consegna 7 e 8 la procedura è più semplice in quanto non è previsto il cambio pallet. Le unità di carico vengono divise e, per ciascuna di esse, viene assegnato l'attributo 'ordine' che identifica il punto di consegna per quella entità.

Le unità di carico raggiungono quindi lo specifico SubModel che corrisponde alla parte di magazzino che è destinata alle entità accomunate per punto di consegna finale.

#### 7.4 Gestione dell'ordine e trasporto

Consideriamo la gestione dell'ordine e il trasporto per le consegne verso il punto 1.

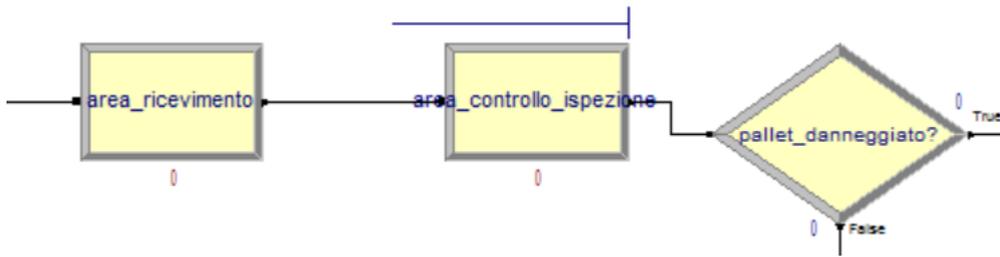


Vengono raggruppate le unità di carico all'interno di un modulo *Batch*: in questo modo, per tutta la fase di gestione e trasporto, è considerata una sola entità, il lotto. Il modulo *Delay* (processamento1) viene impiegato per ritardare la fase di trasporto al momento in cui questa dovrà effettivamente partire e simboleggia l'attesa a stock del lotto. Il trasporto verso P1 è un modulo *Seize-Delay*: vengono occupati i mezzi adibiti al trasferimento delle unità di carico (in questo caso autocarro O, autoarticolato D e autoarticolato H) e viene considerato il tempo di andata, scaricamento del lotto, caricamento dei pallet vuoti e ritorno. Per considerare il tempo di scarico dei pallet vuoti dai mezzi, il modello utilizza un modulo *Seize, Delay, Release* in cui la risorsa impiegata, occupata e rilasciata, è un operatore addetto allo scarico. Si considera poi un *Delay* per la revisione dei mezzi e infine un *Release*, per liberare i due autoarticolati e l'autocarro impiegati. Per tenere traccia dell'avanzamento delle operazioni, all'interno del modulo *Assign*, vengono modificate le variabili:

- Merce A: quantità di unità di carico, che utilizzano come supporto un pallet di tipo A, presente a sistema che viene decrementata dell'entità dell'ordine spedito;
- Tornati A: quantità di pallet di tipo A presenti a sistema come pallet vuoti che tornano a magazzino dai punti di consegna che viene incrementata del numero di pallet vuoti ricevuto.

A questo punto, attraverso il modulo *Separate*, separiamo il lotto, che ora è un lotto di pallet vuoti, perché venga accolto nella zona di ricevimento e ispezione.

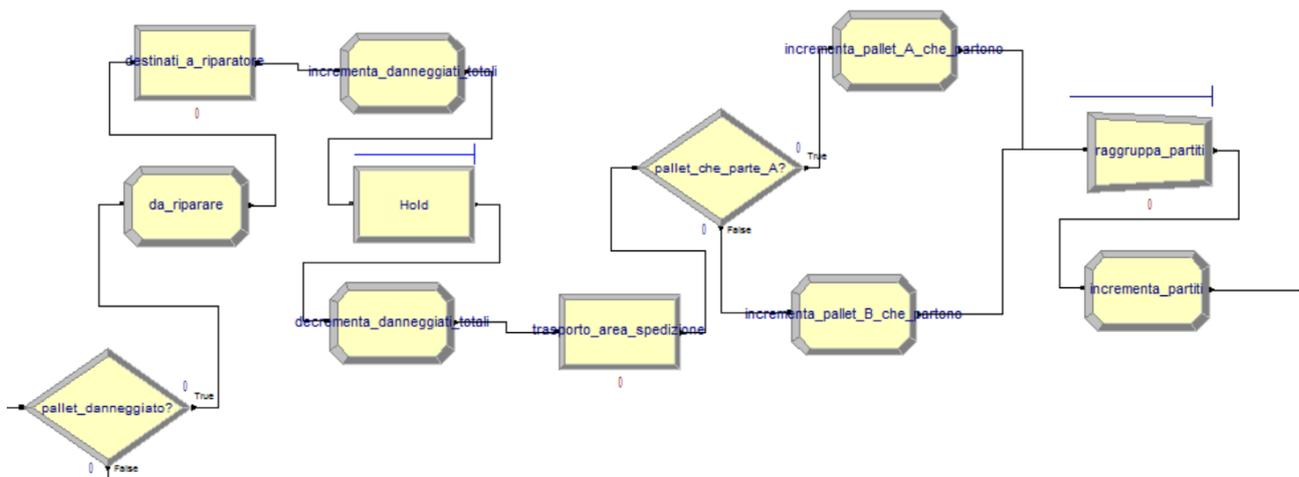
## 7.5 Ricevimento pallet vuoto



I pallet vuoti raggiungono l'area di ricevimento e, con un certo ritardo, arrivano al controllo e ispezione. Questo modulo è un *Seize, Delay*, la cui risorsa associata è un operatore addetto all'ispezione: da qui il pallet può prendere due strade, a seconda che risulti danneggiato o in buono stato.

### 7.5.1 Pallet vuoto danneggiato

Con una certa probabilità il pallet risulta danneggiato: in questo caso viene assegnato un attributo 'rip' di valore 1 attraverso un modulo *Assign*. L'operatore addetto all'ispezione invia il pallet in un'area da cui partirà il carico destinato al riparatore e viene poi rilasciato attraverso un modulo *Delay, Release*.

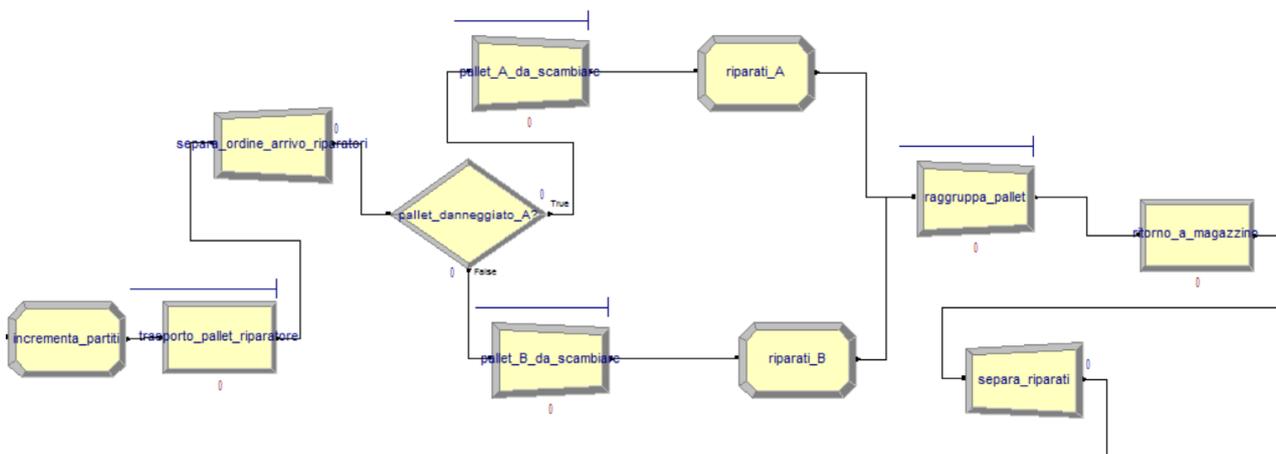


È utilizzata una variabile 'NP\_DAN' che indica il numero di pallet danneggiati che raggiungono l'area adibita allo stock. Le entità entrano in un modulo *Hold*: quando il numero di pallet presenti a stock (NP\_DAN) raggiunge un certo valore, parte un carico verso il magazzino del riparatore, per scambiare le palette danneggiate con altre nuove, disponibili all'uso. Quando le entità escono dal modulo *Hold*, viene decrementata la variabile 'NP\_DAN' e avviene il trasporto, con un certo ritardo, verso l'area spedizione. Per tenere traccia del fatto che si tratti di un pallet di tipo A o di tipo B, un modulo *Decide* controlla l'attributo 'tipo' e, di seguito, con un modulo *Assign* vengono modificati i valori delle variabili:

- Tornati A / Tornati B: i pallet vuoti che devono raggiungere il riparatore non sono più classificati come ‘tornati’, viene quindi decrementato il valore della variabile ogni volta che un’entità passa per il modulo *Assign*;
- Riparare A / Riparare B: quantità di pallet di tipo A / B presenti a sistema come pallet danneggiati da riparare. Questa variabile è incrementata ogni volta che un’entità passa per il modulo *Assign*.

I pallet, pronti per partire, vengono raggruppati in un modulo *Batch*: viene poi incrementata una variabile NPP (numero pallet partiti) del valore ‘Batch Size’.

La seconda parte del processo è la seguente:

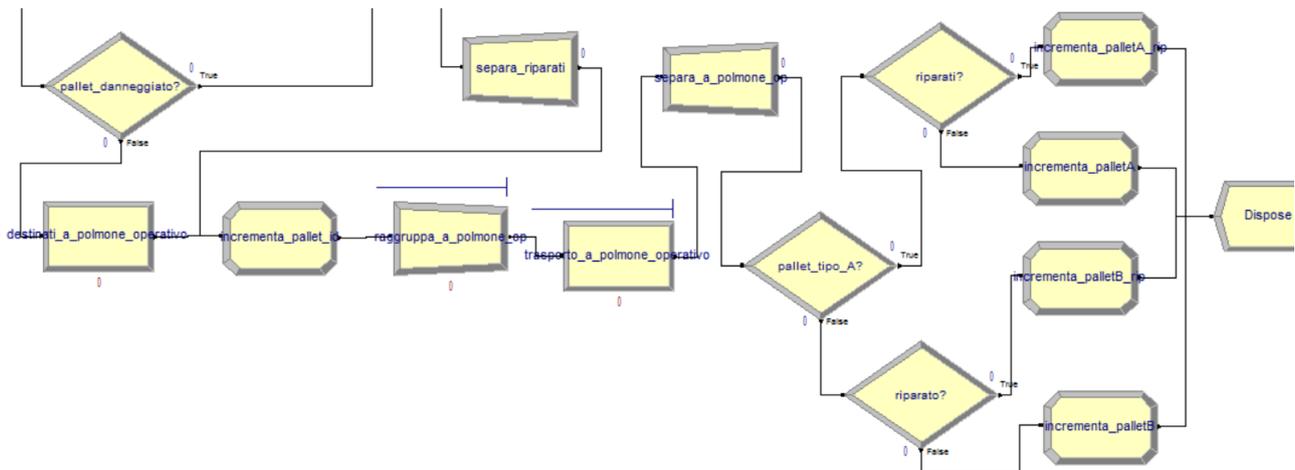


Il trasporto verso il riparatore parte occupando la risorsa autoarticolato D attraverso un modulo *Sieze, Delay*. Arrivati al magazzino del riparatore, i pallet danneggiati vengono scaricati e separati in base all’attributo ‘tipo’, così da poter essere sostituiti con quelli nuovi delle stesse dimensioni (quattro pallet rotti per uno nuovo). Vengono quindi aggiornate le variabili:

- Riparare A / Riparare B: decrementata, per ogni pallet nuovo ricevuto, di quattro che vengono lasciati al magazzino del riparatore;
- Riparati A / Riparati B: quantità di pallet di tipo A / B presenti a sistema come pallet scambiati e disponibili all’uso futuro. Questa variabile viene incrementata di uno per ogni quattro pallet da riparare.

I pallet riparati vengono raggruppati in un modulo *Batch* e tornano al magazzino dell’operatore logistico, dove il mezzo, autoarticolato D, viene rilasciato. Il lotto di pallet riparati viene separato per dare modo alle singole entità di essere riinserite nel sistema insieme a quelle che, sin dall’inizio, erano state considerate in buono stato.

### 7.5.2 Pallet vuoto in buono stato



Dal *Decide*, con una certa probabilità, il pallet risulta in buono stato: l'operatore addetto all'ispezione invia il pallet in un'area da cui partirà il carico destinato al polmone operativo e viene poi rilasciato attraverso un modulo *Delay, Release*. Passato questo modulo i pallet nuovi, provenienti dal magazzino del riparatore, rientrano nel ciclo. Viene quindi incrementata la variabile 'NP\_ID', che rappresenta numero pallet che risultano idonei prima di essere inseriti nel polmone operativo. I pallet vuoti vengono raggruppati in un *Batch*, che ha le dimensioni della capacità di carico del mezzo adibito al trasporto verso l'area di stock dei pallet idonei. Il trasferimento avviene con l'impiego della risorsa 'carrello\_porta\_pallet' con un certo ritardo. Arrivati a destinazione i pallet vengono separati e vengono aggiornate le variabili in base al tipo di paletta:

- Se i pallet di tipo A / B è proveniente dal riparatore (attributo 'rip' uguale a uno), viene decrementata la variabile 'riparati A' / 'riparati B' e incrementata la variabile 'pallet\_A' / 'pallet\_B', numero pallet di tipo A / B presente nel polmone operativo, questo per ogni entità che passa per il modulo *Assign* corrispondente;
- Se i pallet di tipo A / B non è proveniente dal riparatore (attributo 'rip' uguale a zero), viene decrementata la variabile 'tornati A' / 'tornati B' e incrementata la variabile 'pallet\_A' / 'pallet\_B' per ogni entità che passa per il modulo *Assign* corrispondente.

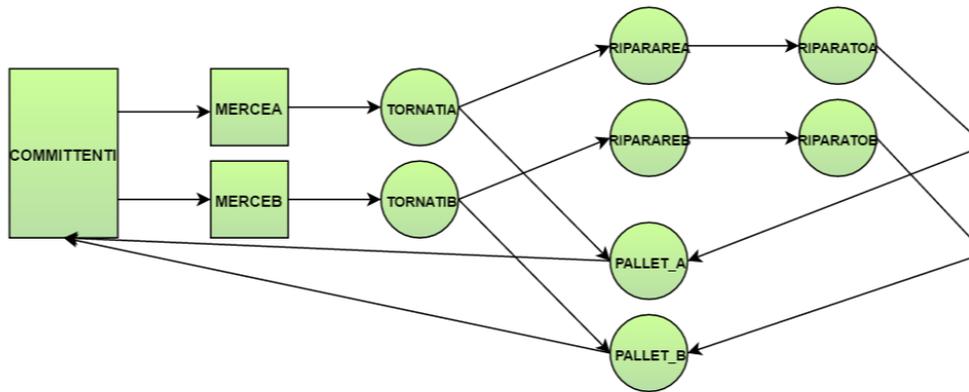
Aggiornate le variabili, l'entità esce dal sistema attraverso il modulo *Dispose*.

## 8. TRACCIATO DELL'ENTITA'

All'interno del modello è importante che in ogni istante della simulazione sia possibile risalire all'esatta posizione di ciascun pallet. Avere una buona tracciabilità consente non solo di seguire meglio il processo di attraversamento del sistema dell'unità, ma anche di avere indicazioni precise su come dimensionare al meglio ogni step operativo. Grazie all'utilizzo di differenti variabili è monitorato l'avanzamento nel sistema delle entità.

Le variabili utilizzate sono:

- pallet\_A, variabile che tiene conto dei pallet A presenti nel polmone operativo;
- pallet\_B, variabile che tiene conto dei pallet B presenti nel polmone operativo;
- merce A, variabile che tiene conto dei pallet A presenti nel sistema utilizzati per l'imballaggio della merce;
- merce B, variabile che tiene conto dei pallet B presenti nel sistema utilizzati per l'imballaggio della merce;
- tornati A, variabile che tiene conto dei pallet A presenti nel sistema che sono tornati dai punti di consegna e che devono ancora passare per le fasi di accettazione, ispezione e controllo;
- tornati B, variabile che tiene conto dei pallet B presenti nel sistema che sono tornati dai punti di consegna e che devono ancora passare per le fasi di accettazione, ispezione e controllo;
- riparare A, variabile che tiene conto dei pallet A che dopo la fase di controllo sono risultati danneggiati e sono pronti a partire per essere riparati;
- riparare B, variabile che tiene conto dei pallet B che dopo la fase di controllo sono risultati danneggiati e sono pronti a partire per essere riparati;
- riparati A, variabile che tiene conto dei pallet A che sono stati riparati e trasportati a magazzino nell'area di ricevimento: da qui dovranno attendere per essere trasportati nel polmone operativo;
- riparati B, variabile che tiene conto dei pallet B che sono stati riparati e trasportati a magazzino nell'area di ricevimento: da qui dovranno attendere per essere trasportati nel polmone operativo.



All'arrivo delle unità di carico dei committenti è aggiornata la variabile ‘merce A’ (‘merce B’) e la variabile ‘pallet\_A’ (‘pallet\_B’): se il cliente, ad esempio, fornisce merce utilizzando pallet di tipologia A (800x1200mm) allora verrà incrementata della quantità fornita la variabile merce A e diminuita, del medesimo valore, la quantità a polmone operativo di pallet A, precisamente pallet\_A (pallet che il committente a monte richiede). Una volta che la merce è stata trasportata al punto di consegna, al magazzino vengono riportati i pallet vuoti che devono essere considerati ora sotto la variabile tornati: la variabile merce (A o B) viene decrementata della quantità di pallet vuoti che tornano a magazzino, mentre viene incrementata la variabile tornati (distinguendo tra tornati A e tornati B). La distinzione tra merce e tornati viene fatta a questo livello della simulazione perché la responsabilità del carico che viene trasportato al punto di consegna grava interamente sul provider logistico: è quindi logico classificare fino al ritorno del pallet vuoto a magazzino la paletta come merce, perché di fatto è associata a essa. Il pallet passa poi alla fase di ispezione: in caso di idoneità potrà direttamente accedere all'area di trasferimento verso il polmone operativo, altrimenti deve essere trasportato in una determinata area da cui poi partirà per essere sostituito. Se il pallet è danneggiato quindi, viene decrementata la variabile tornati, per aggiornare la variabile riparare, una volta che il pallet è pronto per essere caricato sul mezzo che lo porterà al magazzino del riparatore. Come le altre, anche la variabile riparare si distingue tra riparare A e riparare B. Il pallet riparato rientra poi a magazzino sotto la variabile riparato (A o B), aggiornata nel momento in cui il pallet risulta effettivamente scambiato (verrà quindi decrementata la variabile riparare (A o B) della quantità di pallet riparati).

I pallet tornati o riparati verranno trasformati in pallet del polmone operativo (pallet\_A o pallet\_B) solo dopo essere stati trasportati, mediante un carrello porta pallet, all'area adibita allo stock dei pallet utilizzabili.

## 9. REPORTS

Per eseguire la simulazione viene considerato un orizzonte temporale di due giorni, lunedì e martedì, dalle 6 di mattina di lunedì, alle 6 di mattina di mercoledì. Poiché domenica il magazzino viene svuotato (i committenti 3 e 4 arrivano il sabato mattina e le loro consegne vengono portate a termine la sera del giorno stesso), i dati di partenza sono unicamente il numero di pallet presenti nel polmone operativo della tipologia A e B. La durata della simulazione viene specificata nel pannello Run Setup, così come l'unità di tempo in cui vengono forniti i risultati.

Run Setup

Run Speed | Run Control | Reports | Project Parameters

Replication Parameters | Array Sizes | Arena Visual Designer

Number of Replications: 1

Initialize Between Replications  
 Statistics  System

Start Date and Time:  mercoledì 29 giugno 2016 18:10:12

Warm-up Period: 0.0 Time Units: Hours

Replication Length: 48 Time Units: Hours

Hours Per Day: 24

Base Time Units: Hours

Terminating Condition:

OK Annulla Applica ?

Viene inserito come valore di partenze per le variabili pallet\_A e pallet\_B, 175 e 40 rispettivamente, quantità precise che servono a soddisfare il fabbisogno dei committenti nell'immediato. Conclusasi la simulazione vengono analizzati i dati.

Per prima cosa si nota che il numero delle entità entranti è superiore al numero di entità che esce dal sistema, questo perché la durata della simulazione non consente alla consegna verso il punto 3 di essere portata a termine. Pertanto, le quaranta unità di

carico di quell'ordine non completano il processo. Inoltre, è presente un considerevole numero di entità, precisamente quarantaquattro, che attende di essere trasferito al polmone operativo per essere reso disponibile. Cinque entità si trovano nell'area di controllo e ispezione, mentre sei pallet sono risultati non idonei e attendono di essere portati a riparatore.

Altro dato rilevante è il tempo medio che le entità passano all'interno del sistema, di trentadue ore circa.

Total Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
udc	31.9064	(Insufficient)	14.4536	38.4536

Questo tempo è decisamente alto e porta a un'attesa elevata prima che il pallet ricevuto possa tornare operativo, causando una maggior necessità in termini di pallet di proprietà di cui disporre per venire incontro alle esigenze dei committenti. Nonostante il dato in input sia 175, i pallet di tipo A presenti a polmone operativo a fine simulazione sono 120, quantità che non soddisfa le richieste dei committenti. Bisogna quindi agire o sulla quantità presente in partenza, o sull'efficienza del processo. Stesso discorso vale per i pallet di tipo B, che, al termine del periodo considerato, risultano essere 0. Il fatto che i pallet di tipo B siano 0 è la conseguenza dell'aver scelto 48 ore come orizzonte temporale della simulazione: i pallet di questa tipologia, utilizzati per il trasporto della merce verso il punto di consegna 3, non rientrano a magazzino nel periodo considerato, ma in un tempo successivo.

La modifica che viene inserita per tentare di limitare il problema del numero di pallet che l'operatore logistico dovrà possedere, riguarda la capacità del carrello porta pallet, adibito al trasporto verso il polmone operativo. La capacità iniziale era di 50 pallet idonei a trasporto. Da notare anche il tempo di attesa alla stazione di controllo e ispezione:

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
area_controllo_ispezione.Queue	0.3623	(Insufficient)	0.00	1.1250

Sostituiamo quindi il carrello con uno più piccolo e veloce, in grado di trasportare 20 pallet per volta in un tempo che non è più tra i 20 e i 25 minuti, ma tra i 15 e 20 minuti a viaggio.

Grazie a questo accorgimento, il numero di entità in uscita aumenta, per l'aumento dell'afflusso di pallet a polmone operativo che ora conta di pallet di tipo A 155 e ancora 0 pallet di tipo B. Il tempo medio nel sistema ora è di:

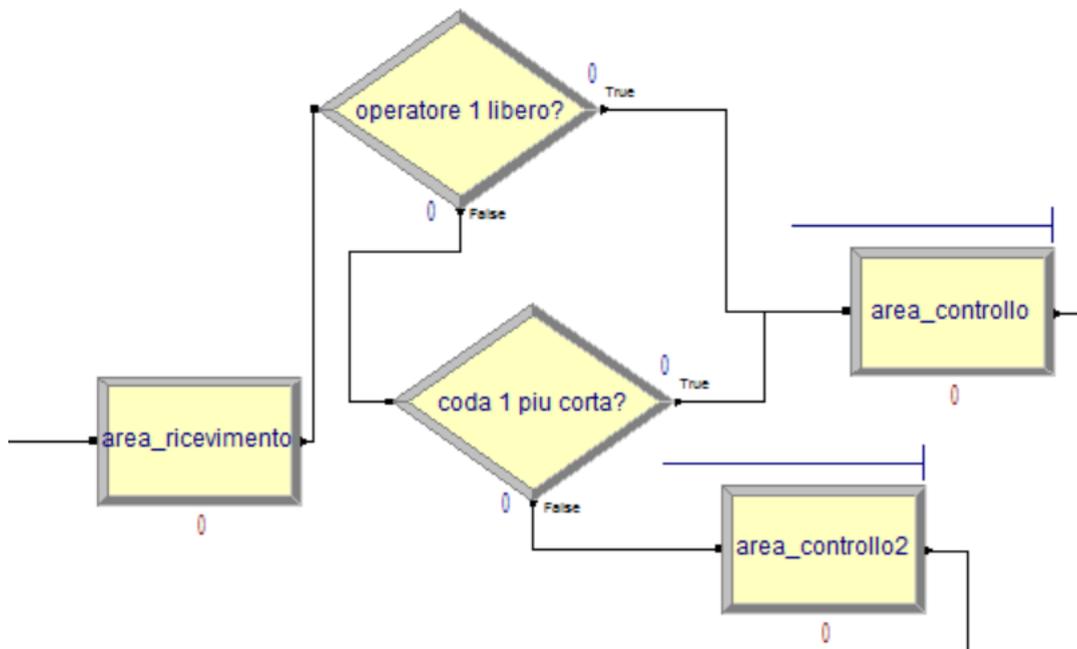
Total Time	Average
udc	26.3986

Mentre il tempo di attesa alla stazione risulta:

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
area_controllo_ispezione.Queue	0.3590	(Insufficient)	0.00	1.1250

Altro accorgimento potrebbe essere quello di aumentare la capacità a controllo e ispezione dei pallet, inserendo un altro operatore che svolga questo compito.

La parte del modello di ricevimento del pallet vuoto diventa:



L'entità arriva dall'area ricevimento a un modulo *Decide*: se l'operatore addetto all'ispezione della prima area controllo è libero ( $area\_controllo.WIP==0$ ), allora il pallet entrerà in quest'area, altrimenti si ha un secondo modulo *Decide* che chiede quale sia la coda più corta. Il comando è:

$$NQ(area\_controllo.queue) \leq NQ(area\_controllo2.queue)$$

Se questa espressione risulta verificata, allora l'area controllo con l'operatore 1 ha la coda più corta e l'entità verrà inviata al modulo corrispondente.

Sono analizzati i reports di questa soluzione.

Il tempo medio passato dalle entità nel sistema si è ulteriormente abbassato e ora vale:

Total Time	Average
udc	24.8447

Anche il tempo medio di attesa alla stazione è considerevolmente diminuito:

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
area_controllo.Queue	0.1160	(Insufficient)	0.00	0.3667
area_controllo2.Queue	0.1492	(Insufficient)	0.00	0.4741

gli addetti impiegati però ora aumentano, implicando un aumento dell'investimento in risorse umane.

Con quest'ultima soluzione, i pallet di tipo A disponibili a fine simulazione risultano 157, mentre quelli di tipo B 0. Si noti che i pallet di tipo B non possono incrementare in numero, poiché il trasporto dal punto di consegna che utilizza tale tipologia di paletta rientra in un momento successivo. Inoltre, al termine del periodo di simulazione, non si ha la necessità di disporre di pallet di tipo B nel polmone operativo in quanto i committenti che usufruiscono di questa paletta arrivano il giorno successivo, momento in cui saranno rientrati i veicoli provenienti dal punto di consegna 3.

Questo significa che l'operatore logistico dovrà disporre di un numero di pallet di proprietà di circa una cinquantina di tipo A e di tipo B, per venire incontro alle richieste dei committenti e evitare eventuali disservizi a causa delle perdite fisiologiche che si avranno nel tempo.

## **Conclusioni**

L'obiettivo della tesi era quello di creare un modello in linguaggio Arena del flusso di lavoro all'interno del magazzino di un provider logistico. Grazie ad un'analisi dettagliata e all'utilizzo del software, è stato dimostrato come sia possibile arrivare ad un ottimo grado di efficienza, ottimizzando al meglio l'impiego delle risorse, minimizzando tempi e costi. I dati inseriti non provengono da osservazioni o misurazioni dirette, ma da valutazioni ipotetiche che non si discostano troppo dalla realtà. L'indagine, che pone le basi per la simulazione, apre numerosi spunti di approfondimento: l'analisi dei costi di gestione, di trasporto, la schedulazione dei mezzi sono alcuni temi che possono essere ulteriormente esaminati.

La rappresentazione in Arena è stata fatta su misura per il caso osservato, ma risulta sufficientemente flessibile, soprattutto grazie all'utilizzo del foglio di calcolo Excel per la gestione degli arrivi. Si rivela dunque facilmente modificabile per l'analisi di scenari alternativi.

Il modello analizzato non vuole essere lo studio di un caso isolato, ma una traccia che può essere riutilizzata, adattandola alla circostanza specifica, per migliorare la conoscenza delle attività che fanno parte del particolare processo di gestione considerato, in modo da procedere all'ottimizzazione di ogni fase.

## Bibliografia

Banks, J., *Handbook on Simulation. Principles, Methodology, Advances, Applications and Practice*. Wiley, New York. (1998);

Brenda N., Dallari F., Centro di Ricerca sulla Logistica – Università Cattaneo LIUC; Marchet G., Mizzio M., Dipartimento Ingegneria Gestionale, Politecnico di Milano; “La gestione dei pallet presso gli operatori di logistica integrata”, in “*Logistica Management*”, ottobre 2008;

Dallari F., Marchet G., “Il ruolo dei pallet nei moderni sistemi distributivi”, in “*Liuc Papers*”, n. 203, Serie Tecnologia 11, giugno 2007;

Pareschi A., Persona A., Ferrari E., Regattieri A., “*Logistica integrata e flessibile*”, Bologna 2014.