

Railway Simulation

Moreno Ambrosin
mat. 1035635

Progetto Sistemi Concorrenti e Distribuiti

Corso di laurea magistrale in Informatica
Università degli Studi di Padova
Padova

10 maggio 2013

Indice

1	Il problema	2
1.1	Specifica arricchita	3
2	Analisi del problema	4
2.1	Distribuzione	4
2.1.1	Gestione del Tempo	5
2.1.2	Acquisto di un Biglietto	6
2.1.3	Terminazione del Sistema	6
2.1.4	Avvio del Sistema	6
2.2	Concorrenza	7
2.2.1	Ingresso in un Segmento da parte di un Treno	7
2.2.2	Uscita da un Segmento e accesso alla Stazione	8
2.2.3	Acquisto di un Biglietto da parte di un Viaggiatore	9
3	Soluzione	10
3.1	Logica di Distribuzione	10
3.1.1	Regioni	10
3.1.2	Biglietterie	13
3.1.3	Controller Centrale	14
3.2	Logica di Concorrenza	15
3.2.1	Segmento	15
3.2.2	Viaggiatore	15
3.2.3	Treno	16
3.2.4	Stazione	17
3.3	Interazione tra le Entità	19
3.3.1	Percorrenza di un Viaggiatore	19
3.3.2	Percorrenza di un Treno	23
3.3.3	Creazione di un Biglietto	38
3.3.4	Terminazione distribuita	45

4	Tecnologie Adottate	47
4.1	Scala	47
4.2	Ada	47
4.3	Yami4	48
5	Specifica della soluzione Realizzata	50
5.1	Simulazione	50
5.1.1	Message_Agent	50
5.1.2	Central_Controller_Interface	53
5.1.3	Central_Office_Interface	53
5.1.4	Name_Server_Interface	53
5.1.5	Queue	54
5.1.6	Generic_Operation_Interface	55
5.1.7	Traveler_Pool	55
5.1.8	Ticket	56
5.1.9	Traveler	56
5.1.10	Regional_Ticket_Office	57
5.1.11	Segment	57

Capitolo 1

Il problema

Il progetto didattico prevede la progettazione e la realizzazione di un simulatore software di un sistema ferroviario. Tale sistema prevede i seguenti requisiti di base (la specifica originale è consultabile all'indirizzo <http://www.math.unipd.it/~tullio/SCD/2005/Progetto.html>):

- La presenza di Treni appartenenti a categorie a priorità e modalità di fruizione diverse.
- La presenza di Viaggiatori, che eseguono operazioni elementari come acquisto di un biglietto, salita/discesa su/da un Treno, ecc.
- La definizione di un ambiente costituito da un insieme di Stazioni, ciascuna composta da:
 - Piattaforme di attesa per Treni e Viaggiatori.
 - Un Pannello Informativo che visualizza informazioni sui Treni in arrivo, in transito e che hanno appena superato la Stazione corrente.
 - Una Biglietteria, presso la quale un Viaggiatore può acquistare un biglietto di viaggio.
- La presenza di Segmenti di collegamento tra Stazioni, a percorrenza bidirezionale.
- La presenza di un entità di controllo globale che mantiene lo stato di ciascun Viaggiatore e ciascun Treno in transito.
- L'obbligo da parte di un Viaggiatore di acquistare un Biglietto prima di poter usufruire del servizio ferroviario.

- La presenza di collegamenti multipli tra Stazioni, ovvero ciascuna Stazione può essere raggiunta da più Segmenti e da ciascuna stazione possono partire più segmenti.
- Il percorso portato a termine da un Viaggiatore può comprendere cambi di treno.

1.1 Specifica arricchita

La soluzione presentata con il seguente documento, è relativa alla seguente raffinamento della specifica originaria:

- Ciascun Treno appartiene ad una delle seguenti due categorie:

Regionale

Treno a bassa priorità, senza posto garantito.

FB

Treno a priorità più alta, che necessita prenotazione.

- Ciascun Treno possiede una capienza massima di Viaggiatori.

Capitolo 2

Analisi del problema

La progettazione di un simulatore di un sistema ferroviario presenta diverse problematiche relativamente alla concorrenza e alla distribuzione, in quanto:

- il problema prevede l'interazione tra una popolazione di entità in maniera concorrente;
- vi sono dei punti di sincronizzazione tra le entità, che devono essere identificati e modellati opportunamente;
- non è ragionevole fare assunzioni a priori sulle tecnologie che risolveranno il problema, né sull'ambiente di esecuzione;
- è ragionevole prevedere un certo livello di distribuzione delle componenti del sistema;
- si possono presentare difficoltà dovute ai ritardi nella trasmissione di rete tra le componenti.

Di seguito andrò ad analizzare quelle che sono le principali.

2.1 Distribuzione

Le problematiche legate alla distribuzione sono molteplici. Nel progetto di un simulatore di un sistema ferroviario infatti, la presenza di entità distribuite è auspicabile, sia per suddividere logicamente le entità, sia per distribuire l'onere di calcolo su nodi differenti. Le caratteristiche desiderabili da un sistema distribuito che simula una struttura ferroviaria sono:

- Il complesso deve apparire all'utente come un sistema unitario, la natura distribuita del sistema deve essere nascosta all'utilizzatore finale.

- L'architettura distribuita non deve limitare le funzionalità desiderate.
- È desiderabile che vi sia un buon grado di disaccoppiamento tra le componenti, e dalle tecnologie adottate per la comunicazione tra nodi della rete.
- Il sistema dovrà essere il più possibile robusto agli errori.
- La progettazione architetturale deve prevedere un meccanismo che permetta Avvio del sistema e Terminazione ordinata.
- L'architettura distribuita deve sottostare a vincoli temporali propri di un sistema ferroviario.
- La struttura distribuita deve essere tale da permettere estendibilità e scalabilità.

2.1.1 Gestione del Tempo

La simulazione è scandita da orari di partenza e di arrivo dei Treni che circolano tra le stazioni. Per questo è importante dotare il sistema di un *riferimento temporale* adeguato, che permetta di gestire i ritardi introdotti dalla comunicazione di rete, o dalla diversità di sincronizzazione degli orologi dei diversi nodi della rete.

Tale problema assume forme diverse in base al grado di distribuzione scelto per le componenti che generano gli eventi caratterizzanti la simulazione. In particolare, un livello di distribuzione alto, che prevede ad esempio la collocazione di una entità Stazione per nodo della rete, richiederà un meccanismo di regolazione del tempo più complesso e delicato rispetto ad un sistema con un livello di distribuzione più contenuto, che preveda ad esempio una distribuzione di singole Regioni di simulazione.

La scelta del riferimento temporale diviene quindi cruciale per lo svolgersi della simulazione. Abbiamo due tipi possibili di orologio:

- Assoluto: Prevede l'esistenza di un'entità dalla quale le varie componenti attingono per ottenere l'informazione temporale.
- Relativo: Ciascun nodo di calcolo possiede un proprio riferimento temporale interno.

È chiaro che la prima soluzione non si presta ad essere utilizzata per il problema presentato. Infatti esso, possedendo un flusso continuo interno del tempo, non permetterebbe a entità indipendenti su nodi diversi di eseguire logicamente allo stesso istante (ad esempio due treni che in nodi diversi partono contemporaneamente da una stazione)

2.1.2 Acquisto di un Biglietto

In base al grado di distribuzione della modellazione realizzata, è necessario prevedere una struttura distribuita di biglietterie, in quanto la natura del problema prevede un livello di conoscenza globale soprattutto per l'acquisto di biglietti di treni a prenotazione.

2.1.3 Terminazione del Sistema

La durata di una simulazione di un sistema ferroviario è per sua natura indefinita. È quindi necessario un intervento esterno che ne decreti la terminazione. La *Terminazione del sistema* globale deve essere coordinata tra tutte le componenti distribuite, ed effettuata in modo tale da non far terminare l'esecuzione in uno stato inconsistente. Dovrà inoltre garantire che nessun nodo di calcolo rimarrà attivo (ad esempio, nessun thread in esecuzione o in attesa).

2.1.4 Avvio del Sistema

L'*Avvio del sistema* deve essere progettato in modo tale da permettere a tutte le componenti distribuite di interagire, ed evitare errori. In particolare:

- dev'essere previsto un meccanismo che permetta una rapida individuazione dei nodi con i quali ciascuna entità coopera;
- devono essere evitati (o gestiti) errori causati dal tentativo di comunicazione di thread concorrenti con entità non ancora pronte o allocate.

2.2 Concorrenza

Nell'analizzare le problematiche di concorrenza, è necessario individuare quali saranno le entità che svolgeranno un ruolo attivo all'interno della simulazione, e quali un ruolo reattivo, in base alle azioni compiute dalle entità attive. Nella simulazione di un sistema ferroviario, ho individuato le seguenti entità attive:

- Treno
- Viaggiatore

mentre le entità reattive principali saranno:

- Segmento
- Piattaforma

2.2.1 Ingresso in un Segmento da parte di un Treno

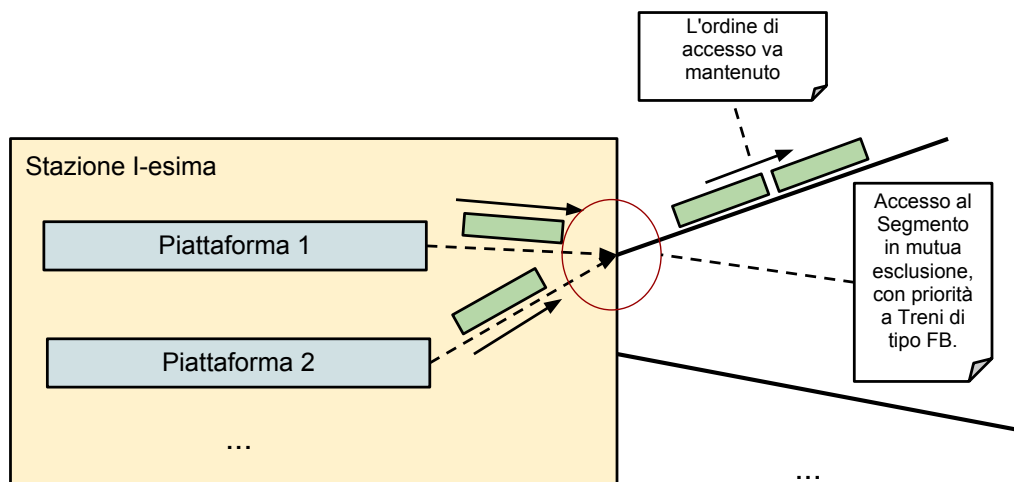


Figura 2.1: Accesso ad un Segmento da Parte di uno o più Treni.

L'accesso ad un segmento di collegamento tra due stazioni da parte di un Treno, è inerentemente concorrente. Tale azione presenta infatti i seguenti requisiti:

- L'ingresso presso un Segmento deve avvenire in *mutua esclusione*; è infatti impossibile che due o più entità Treno accedano ad uno stesso Segmento contemporaneamente.

- Più Treni possono circolare su un Segmento contemporaneamente. Questo comporta:
 - il mantenimento di un ordine di ingresso al Segmento;
 - la regolazione della velocità di transito di ciascun Treno in base alla velocità di quelli che lo precedono;
 - l'impossibilità di un Treno di accedere ad un Segmento qualora vi siano altri Treni che lo percorrono in senso opposto.
- Dev'essere data precedenza d'accesso al Segmento, ai Treni di tipo FB.

2.2.2 Uscita da un Segmento e accesso alla Stazione

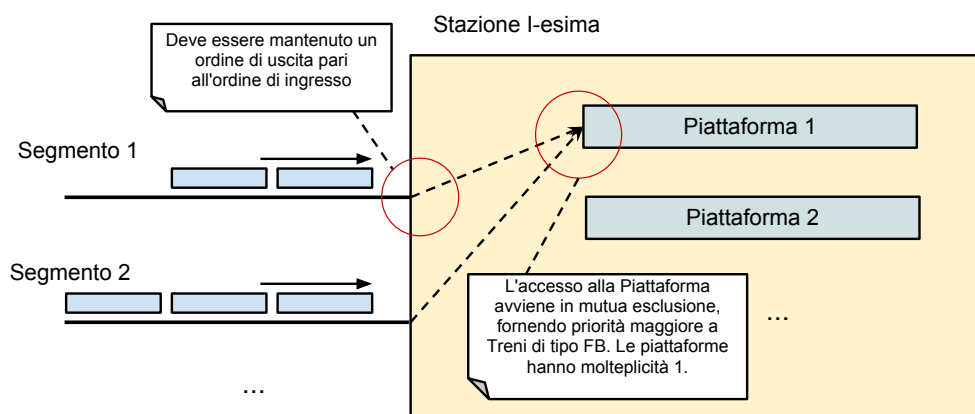


Figura 2.2: Uscita da un Segmento e accesso ad una Piattaforma di uno o più Treni.

Il problema introdotto in sezione 2.2.1, vincola i requisiti che dovranno essere soddisfatti relativamente all'uscita da un Segmento e conseguente accesso alla Stazione successiva. Per quanto riguarda l'uscita dal Segmento avremo quindi i seguenti requisiti:

- L'ordine di ingresso al Segmento dev'essere mantenuto all'uscita.
- L'ordine di uscita da un Segmento dev'essere mantenuto nell'accesso alla stazione successiva da parte dei Treni in transito.

L'ingresso in una Stazione, permette ad un Treno di occupare una delle Piattaforme disponibili e, dato che da specifica una stazione può essere raggiunta da più Segmenti, tale azione sarà svolta in modo concorrente tra i treni in uscita dai vari Segmenti, secondo i seguenti vincoli:

- I Treni di tipo FB avranno priorità maggiore nell'occupare una Piattaforma.
- Ciascuna Piattaforma è acceduta in mutua esclusione, e può essere occupata da un solo Treno alla volta.

Questo significa che l'accesso ad una Piattaforma sarà ordinato, per tutti i Treni provenienti dallo stesso Segmento, in base all'ordine di uscita da quest'ultimo, e concorrente tra Treni provenienti da Segmenti diversi.

2.2.3 Acquisto di un Biglietto da parte di un Viaggiatore

Ciascun Viaggiatore deve acquistare un biglietto prima di poter usufruire dei servizi ferroviari. Per fare ciò, all'interno ogni stazione vi è una Biglietteria presso la quale l'acquisto può essere effettuato. Un biglietto sarà composto da una serie di Tappe, ciascuna relativa ad un tratto del percorso da portare a termine con uno specifico Treno, sia Regionale che FB. L'assegnazione di un Biglietto ad un Viaggiatore è semplice se il suo percorso prevede solo l'utilizzo di Treni Regionli, mentre è più complesso se vi sono tappe da raggiungere con Treni FB, i cui biglietti vengono erogati se e soltanto se vi è ancora posto all'interno del treno. È quindi necessario prevedere l'esistenza di una *biglietteria centrale* che mantenga le prenotazioni dei Treni di tipo FB. Si ricavano quindi i seguenti requisiti:

- La biglietteria centrale va acceduta in mutua esclusione, in modo da evitare prenotazioni inconsistenti di Biglietti.
- L'erogazione di biglietti può fallire in caso non vi siano posti per percorrere alcune tappe; il sistema deve reagire di conseguenza.

Capitolo 3

Soluzione

Di seguito, verrà presentata la soluzione realizzata, in termini di progettazione come sistema distribuito e concorrente.

3.1 Logica di Distribuzione

Un diagramma informale delle componenti distribuite che compongono il sistema è presentato in figura 3.1. Di seguito verranno descritte le principali.

3.1.1 Regioni

La simulazione è stata suddivisa in *Regioni*, le quali risiederanno su nodi di calcolo diversi. Questa scelta aggiunge i seguenti requisiti minimi alla specifica iniziale:

- I Treni, se previsto dal percorso, possono viaggiare da una Regione all'altra.
- I Passeggeri possono raggiungere destinazioni in Regioni diverse.
- Esisteranno punti di collegamento che permettono a Treni e Passeggeri di raggiungere Regioni diverse.
- Deve essere garantita consistenza temporale nel passaggio da una Regione ad un'altra.

Da questa scelta consegue inoltre l'introduzione di un semplice *Server dei Nomi* che mantiene traccia di ciascuna Regione (mantiene cioè le coppie `<Regione, indirizzo>`), in modo tale da rendere agevole la risoluzione della locazione alla quale l'entità si trova.

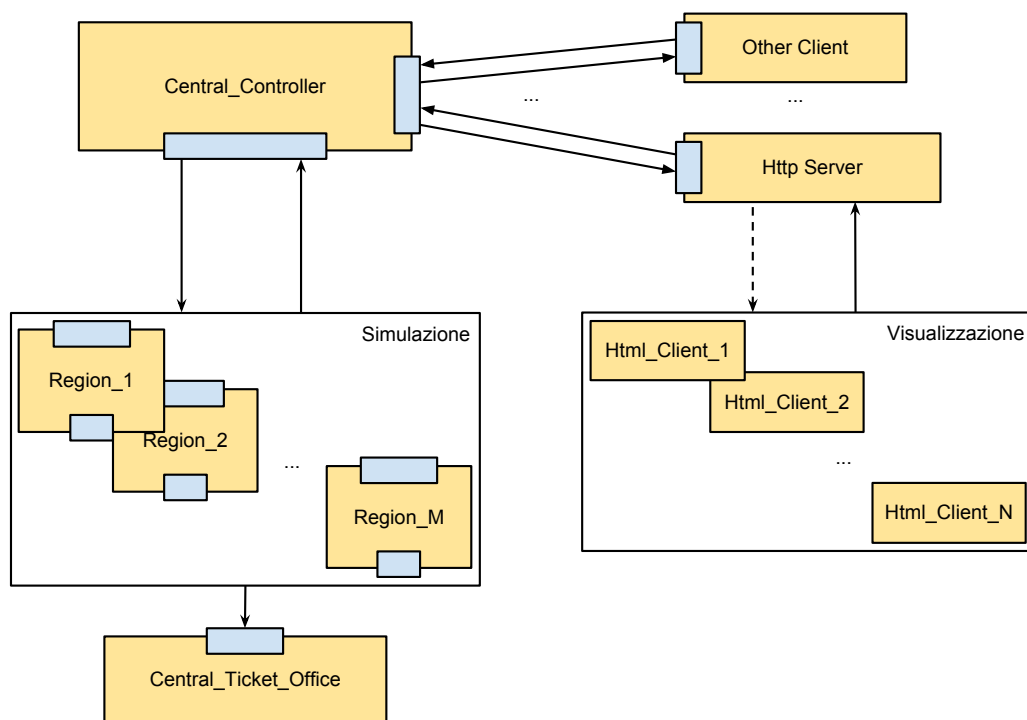


Figura 3.1: Diagramma informale che presenta una progettazione logica delle componenti distribuite.

3.1.1.1 Stazioni di Gateway

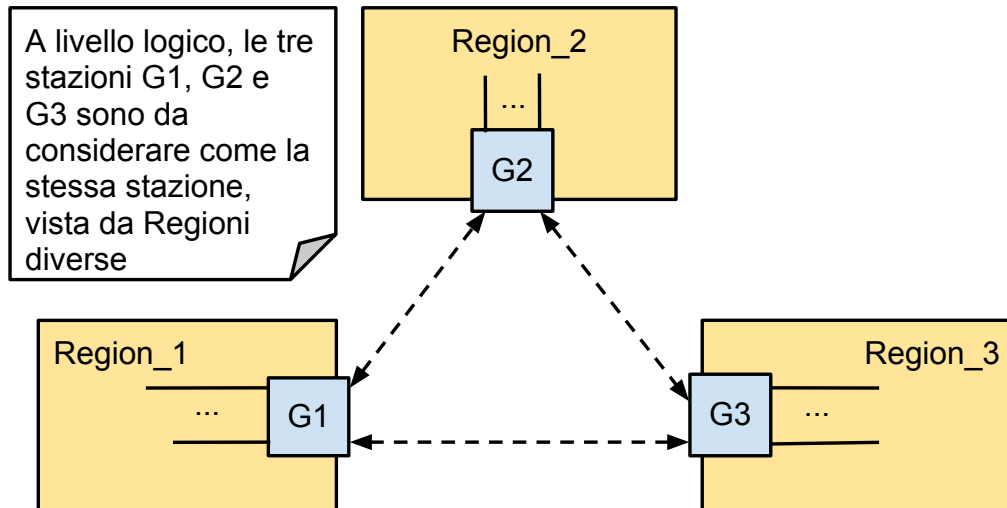


Figura 3.2: Utilizzo di stazioni di Gateway per collegare tre Regioni.

Nella progettazione di un simulatore distribuito su più Regioni, è necessario prevedere uno o più punti di collegamento tra di esse. A tal proposito, il progetto prevede *Stazioni di Gateway* (*Gateway_Station*), che permettono di raggiungere determinate Regioni remote. Le Stazioni di Gateway che colleghino N Regioni in modo diretto, sono da considerare come un'unica Stazione logica, e ciascuna delle N Stazioni può essere vista come una porzione della Stazione globale accessibile dalla Regione corrente. Una rappresentazione dell'idea generale è visibile in figura 3.2.

Da tale assunzione, ricaviamo la seguente conseguenza:

Conseguenza 1 *Per ogni coppia G e G' di Stazioni di Gateway connesse (ovvero mutuamente raggiungibili in modo diretto) appartenenti a Regioni diverse rispettivamente R_G ed $R_{G'}$, \nexists altra Stazione di Gateway $G'' \in R_{G'}$ tale per cui G'' è connesso a G .*

Per evitare sincronizzazioni tra thread distribuiti, sono posti dei vincoli nella struttura interna di questo tipo di stazioni. Ciascuna Stazione di Gateway G sarà dotata di un numero M di Piattaforme $\{P_1, \dots, P_M\}$, le quali permettono un *unico senso di percorrenza*, ovvero:

- Le prime $\{P_1, \dots, P_K\}$ saranno disponibili all'accesso dalla Regione in cui G risiede.

- Le Piattaforme $\{P_K + 1, \dots, P_M\}$ saranno invece dedicate all'accoglimento di Treni provenienti da nodi diversi.

Questa scelta, vincola così il numero di Piattaforme per Stazione di Gateway:

Conseguenza 2 *Date N Stazioni di Gateway connesse, sia K_i il numero di Piattaforme che permettono ad un Treno di lasciare la Regione i -esima; allora ciascuna Stazione dovrà complessivamente mantenere un numero di Piattaforme pari a $\sum_{i=1}^N K_i$.*

Tali vincoli sono sufficienti a mantenere locale ai nodi la sincronizzazione tra i thread che permettono l'esecuzione dei Treni. Una descrizione dettagliata del protocollo di accesso alle Stazioni di Gateway e di migrazione dei Treni, è presentata in sezione 3.3.2.4. Per una descrizione dell'entità e del ruolo delle Piattaforme, si rimanda alla sezione 3.2.4

3.1.2 Biglietterie

Per poter gestire meglio la definizione di un percorso e l'erogazione di un Biglietto per un Viaggiatore, ho pensato di introdurre una gerarchia su due livelli, di Biglietterie. Ci saranno dunque tre categorie di Biglietterie:

Biglietterie di Stazione

Forniscono un'interfaccia adeguata ai Viaggiatori per poter acquistare un biglietto.

Biglietterie Regionali

Hanno conoscenza regionale della topologia del grafo composto da Stazioni e Segmenti.

Biglietteria Cantrale

Ha conoscenza di più alto livello; in particolare, essa mantiene traccia delle connessioni tra le varie regioni (ovvero i collegamenti tra Stazioni di Gateway di regioni diverse). Tale conoscenza si può immaginare sia memorizzata in una mappa chiave-valore **Links** dove per ciascuna coppia di Regioni, è mantenuta una lista di tappe successive Regione-Stazione di Gateway da percorrere per andare dalla prima alla seconda.

3.1.3 Controller Centrale

Il Conterollo Centrale è una entità distribuita, alla quale tutti i nodi inviano Eventi per notificare lo stato di avanzamento globale della simulazione. Esso fornisce una interfaccia alle varie Regioni per ricevere gli Eventi di simulazione, ed un'interfaccia per permettere a client remoti di poter visualizzare gli effetti di tali Eventi. Quest'ultima possibilità è ottenuta mediante un meccanismo di tipo Publish/Subscribe, attraverso il quale client remoti possono registrarsi presso il Controller per ricevere, in modalità Push, gli Eventi. In questo modo è possibile per un qualsiasi client interfacciarsi al Controller e fornire, ad esempio, una rappresentazione grafica della simulazione.

Il Controller sarà anche responsabile dell'invio di un *segnale di terminazione*, che verrà recapitato a tutti i nodi che compongono la simulazione, mediante la procedura descritta in sezione 3.3.4.

3.2 Logica di Concorrenza

Internamente a ciascuna Regione di simulazione, sono definite entità che modellano le interazioni previste dalla specifica del problema. Di seguito sono descritte le principali.

3.2.1 Segmento

Un Segmento (**Segment**) è modellato come una *entità reattiva ad accesso mutuamente esclusivo, a molteplicità N* , dove N è il numero massimo di utilizzatori, la quale fornisce un'interfaccia utilizzabile da entità attive di tipo Treno per accedere ed uscire in maniera ordinata. Esso è caratterizzato da:

- le due stazioni che esso collega;
- una lunghezza;
- una velocità massima di percorrenza.
- un flag booleano **Free** che indica lo stato della risorsa, occupata o no.

3.2.2 Viaggiatore

In prima analisi, un Viaggiatore (**Traveler**) può essere modellato come una *entità Attiva* che esegue una sequenza di operazioni semplici. In presenza di un modello di distribuzione come quello presentato in sezione 3.1.1 però, si presenta il problema di modellare il passaggio da una Regione (nodo) ad un'altra del Viaggiatore, nel caso in cui il viaggio da esso percorso lo preveda.

Nel caso in cui il Viaggiatore fosse messo in relazione univoca con un thread, si presenterebbero solo due possibili soluzioni:

- La migrazione del processo che rappresenta il Viaggiatore sul nodo (Regioni) di destinazione, come distruzione del processo sul nodo di partenza e creazione dinamica dello stesso sul nodo destinazione. Questa operazione è in generale computazionalmente molto costosa.
- La replicazione del thread che rappresenta il Viaggiatore su tutti i nodi, e l'attivazione, intesa come cambio di stato del processo in modo tale che possa competere per la CPU; tale soluzione è molto costosa in termini di memoria utilizzata, e non scalabile all'aumentare del numero di passeggeri.

La soluzione che ho adottato, consiste nel disaccoppiare le operazioni svolte da ciascun Viaggiatore dal processo che le esegue, prevedendo una struttura dati (**Traveler.Pool**) costituita da:

- un *pool di M thread* dimensionato in maniera opportuna;
- una *coda di operazioni* che man mano vengono estratte ed eseguite dai thread nel pool.

In questo modo è sufficiente replicare per ciascun Viaggiatore, su tutti i nodi che compongono il sistema, una struttura dati che contiene i suoi dati e le operazioni che esso eseguirà, e cioè un Descrittore (**Traveler.Descriptor**). Il cambio di Regione di un Viaggiatore potrà quindi essere ottenuto semplicemente inserendo la prossima operazione da eseguire per il Viaggiatore nella coda del pool di thread del nodo destinazione.

3.2.3 Treno

Un Treno (**Train**) è una *entità Attiva*, la quale esegue ciclicamente un numero finito di operazioni. Ciascuna entità Treno può appartenere a due categorie, FB a priorità più alta, e Regionale a priorità minore, ed è caratterizzata da:

- un identificativo univoco;
- una capienza massima;
- una velocità massima raggiungibile;
- una velocità corrente;

Anche in questo caso come per le entità di tipo Viaggiatore, ciascuna entità non viene mappata su un singolo processo. Infatti anche per le entità di tipo Treno ciò comporterebbe una complessa e costosa gestione del passaggio da un nodo (Regione) ad un altro, in termini computazionali e di memoria. Ho optato invece nel progettare una struttura dati **Train.Pool** che mantiene:

- una *coda di Descrittori di Treno*, che contengono tutte le informazioni che distinguono una entità Treno;
- un *Pool di thread* dimensionato in maniera opportuna; ciascun thread sarà tale per cui una volta ottenuto un descrittore dalla coda, eseguirà per lui una fissata sequenza di azioni. Data la complessità delle interazioni tra le entità del sistema, e quindi la possibilità che i thread

vengano posti in attesa su guardie booleane in attesa di eventi, è necessario che il Pool di Thread abbia una dimensione pari al massimo numero di Treni circolanti nella Regione alla quale esso appartiene, in modo tale da evitare deadlock dei Treni in attesa.

In questo modo un'entità Treno eseguirà all'interno di un nodo se e soltanto se il suo descrittore sarà inserito nella coda di descrittori della struttura dati descritta.

3.2.4 Stazione

Una Stazione (**Station**) è modellata come una struttura dati contenete:

- un certo numero $n > 2$ di Piattaforme (**Platform**);
- una Biglietteria (**Ticket_Office**);
- un Pannello Informativo (**Notice_Panel**).

Essa offre una interfaccia alle entità Treno e Viaggiatore per l'accesso a Piattaforme e Biglietteria.

3.2.4.1 Piattaforma

Una Piattaforma è modellata come una *entità reattiva ad accesso mutuamente esclusivo, a molteplicità 1*. Essa espone un'interfaccia che permette alle entità Treno di

- poter sostare ed effettuare discesa e salita dei Viaggiatori;
- poter superare la stazione.

mentre alle entità Viaggiatore di accodarsi in attesa di uno specifico Treno. Internamente essa mantiene due code di **Traveler_Descriptor**:

- **Leaving_Queue**, che conterrà i descrittori dei Viaggiatori in attesa di Treni per poter effettuare la partenza.
- **Arrival_Queue**, che conterrà i descrittori dei Viaggiatori in attesa di Treni per poter effettuare l'arrivo alla stazione.

Inoltre contiene un flag booleano **Free** che ne indica lo stato di occupazione. Ciascuna Piattaforma, in base al tipo di Stazione avrà percorrenza bidirezionale o unidirezionale.

3.2.4.2 Biglietteria

Una Piattaforma è modellata come una interfaccia che permette al Viaggiatore di acquisire un Biglietto di viaggio.

3.2.4.3 Pannello Informativo

Una Piattaforma è modellata come una *entità reattiva con agente di controllo, a molteplicità 1*. Esso espone una interfaccia tale da permettere alla stazione di notificare lo stato delle entità Treno che stanno arrivando, quelle in sosta e quelle in partenza.

3.3 Interazione tra le Entità

3.3.1 Percorrenza di un Viaggiatore

Alla luce della definizione dell'entità Viaggiatore in sezione 3.2.2, è possibile definire le azioni che compongono il viaggio:

- Acquisto di un Biglietto (**Ticket**) presso la Biglietteria della Stazione (**Ticket_Office**) di partenza. Ogni Biglietto è composto da una sequenza ordinata di Tappe (**Ticket_Stages**), ciascuna contenente:

- `start_station`
- `next_station`
- `train_id`
- `start_platform`
- `destination_platform`
- `run_number`
- `next_region`

e da un indice della prossima tappa del Percorso (**Next_Stage**). Nel caso in cui il Treno `train_id` sia un Treno a prenotazione, il valore di `run_number` sarà `0`.

- Una volta ottenuto un **Ticket**, vengono eseguite le seguenti operazioni per ciascuna Tappa del Biglietto:
 - Accodamento presso la Piattaforma `start_platform` della Stazione `start_station` in attesa del Treno `train_id`.
 - All'arrivo del treno `train_id`, Accodamento presso la Piattaforma `destination_platform` della Stazione `next_station` in attesa dell'arrivo di `train_id`.

Le azioni sopraelencate possono essere incapsulate in strutture dati che rappresentano una specifica operazione. In questo modo viene generata una *gerarchia di operazioni*, tutte derivanti da un'unica *operazione generica*. Di seguito identificheremo tali operazioni rispettivamente con **BUY_TICKET**, **LEAVE** e **ARRIVE**.

Il protocollo di operazioni che vengono eseguite da un Viaggiatore, è stato mantenuto il più semplice possibile, e l'intero percorso viene regolato dagli eventi generati dalle entità Treno alla partenza e all'arrivo dalle/nelle Stazioni.

3.3.1.1 Acquisto di un Biglietto

L'acquisto di un Biglietto da parte di un Viaggiatore è effettuato tramite l'operazione `BUY_TICKET`. Essa si limita a richiedere alla Biglietteria della Stazione di partenza (che viene definita da configurazione iniziale) un Biglietto per una specifica destinazione. Al termine della richiesta, l'esecuzione dell'operazione termina, e il thread corrente ritorna nella coda di thread `Traveler_Pool` (descritta in sezione 3.2.2) per poter eseguire una nuova operazione. Questo comporta la definizione di una nuova operazione, `TICKET_READY`, la quale verrà inserita nella coda di operazioni di `Traveler_Pool`, all'avvenuta ricezione del Biglietto richiesto, sia per assegnare il `Ticket` creato e caricare nella coda della struttura dati `Traveler_Pool` l'operazione `LEAVE` del Viaggiatore corrente, sia per eseguire operazioni in caso la richiesta non fosse andata a buon fine.

3.3.1.2 Partenza da una Stazione

Denominiamo t la tappa di indice `Next_Stage`, ovvero la tappa corrente. Perché l'operazione di Partenza dalla stazione corrente venga effettuata, è necessaria la preconditione per la quale:

- l'operazione `LEAVE` è stata inserita nella apposita coda di `Traveler_Pool`;
- in qualche momento essa venga prelevata (rimossa) da tale luogo ed eseguita da uno dei thread del pool di `Traveler_Pool`.

Le azioni compiute dall'operazione `LEAVE` sono:

- Estrazione di `start_station` da t ;
- Tramite l'interfaccia esposta dalla Stazione `start_station` (una procedura che identifichiamo con `Wait_For_Train_To_Go`), viene richiesto di attendere presso la Piattaforma `start_platform`.

Internamente alla Stazione, tale richiesta viene tradotta nell'inserimento del Viaggiatore, o meglio del suo Descrittore `Traveler_Descriptor`, nella coda `Leaving_Queue` della Piattaforma indicata da `start_platform`. Tale operazione non utilizza una sezione critica presso la risorsa protetta a protezione della Piattaforma, ma possiamo pensare che la coda (FIFO) adottata sia ad accesso sincronizzato.

Nel caso in cui la Stazione di partenza del Viaggiatore sia una Stazione di Gateway, allora la procedura di accodamento presso la Piattaforma designata diviene:

- Se la Regione di Destinazione `next_region` è diversa dalla Regione corrente, allora
 - I dati relativi al Viaggiatore (Descrittore e Biglietto) vengono serializzati (*marshalling*).
 - Viene inviato un messaggio alla prossima Regione (ovvero `next_region`, il cui indirizzo viene recuperato dal Server dei Nomi) contenente i dati serializzati, destinato alla Stazione di Gateway corrispondente in tale Regione (nodo).
 - A destinazione, vengono aggiornati i dati relativi al Viaggiatore locale alla Regione e eseguito un accodamento presso la coda `Leaving_Queue` della Piattaforma indicata da `start_platform`.

Il comportamento descritto non è proprio della operazione `LEAVE`, ma è contenuto nell'operazione della Piattaforma per l'accodamento del Viaggiatore presso la coda `Leaving_Queue`.

3.3.1.3 Arrivo alla Destinazione successiva

Similmente a quanto descritto per la partenza, l'arrivo a destinazione prevede che l'operazione `ARRIVE` sia già stata inserita all'interno della coda di operazioni in `Traveler_Pool`, e che un thread del pool la esegua (rimuovendola dalla coda). A differenza della partenza, questa operazione può comportare l'accodamento del Viaggiatore presso una Stazione che non appartiene alla Regione (al nodo) corrente, anche se non di Gateway.

Vengono eseguite le seguenti azioni:

- Estrazione della prossima stazione (`next_station`) e della Regione di destinazione (`next_region`) dalla tappa corrente *t*. Si presentano ora due casi:
 - Se la prossima Regione è la stessa della Regione corrente, allora mediante l'interfaccia esposta dalla Stazione locale `next_station`, viene effettuata una richiesta di attesa presso la Piattaforma `destination_platform`
 - Se la destinazione è una Stazione appartenente ad un'altra Regione, allora:
 - * Viene individuato l'indirizzo della Regione remota (richiesto al `Name_Server` che gestisce le Regioni).
 - * Vengono serializzati (*marshalling*) i dati relativi al Viaggiatore (Descrittore del Viaggiatore) e al suo Biglietto.

- * Viene inviato un Messaggio Remoto alla Regione specificata che provvederà ad effettuare l'aggiornamento del corrispondente Viaggiatore, e al suo accodamento presso la Stazione corretta.

Internamente alla Stazione, la richiesta si traduce nell'inserimento del Descrittore del Viaggiatore corrente all'interno della coda `Arrival_Queue` interna alla Piattaforma `destination_platform` selezionata.

Si noti che l'eventuale azione di trasferimento del Viaggiatore al nuovo nodo viene effettuata dall'operazione `ARRIVE` e non dalla stazione all'arrivo del Treno (descritto nella sottosezione 3.3.2.3). Questa scelta è stata fatta per limitare il più possibile l'occupazione da parte di un Treno della Piattaforma (risorsa protetta), ed evitare quindi l'esecuzione di operazioni potenzialmente lunghe come l'invio di un messaggio remoto.

3.3.2 Percorrenza di un Treno

A ciascuna entità Treno, è assegnato un Percorso (**Route**) di andata e un Percorso di ritorno, ovvero sequenze di Tappe (**Stage**) successive, ciascuna composta dai seguenti campi:

- `start_station`,
- `start_platform`,
- `next_segment`,
- `next_station`,
- `next_platform`,
- `leave_action`,
- `enter_action`,
- `node_name`

dove `leave_action` e `enter_action` indicano rispettivamente quello che un Treno dovrà compiere alla partenza dalla stazione `start_station` e all'arrivo presso la prossima stazione `next_station`, a scelta tra **ENTER**, per entrare ed effettuare discesa e salita passeggeri o **PASS** per non fermarsi e oltrepassare la Stazione; il campo `node_name` invece, indica la regione di destinazione, e viene utilizzato nel caso di transito su stazione di Gateway. Il percorso di ciascun Treno è scandito da una Tabella degli Orari (**Time_Table**), la quale definisce per $N > 1$ Corse (**Runs**) successive del Percorso, gli *orari di partenza* dalle Stazioni da rispettare per ciascuna Tappa.

Una volta che un thread del pool della struttura **Train_Pool** ottiene un Descrittore, effettua le seguenti operazioni, per ciascuna Tappa del Percorso corrente (di andata o di ritorno):

- Partenza dalla Stazione `start_station`, Piattaforma `start_platform` all'orario indicato da **Time_Table** per la Tappa corrente.
- Accesso al prossimo Segmento `next_segment`.
- Percorrenza all'interno del Segmento come attesa finita di durata proporzionale alla lunghezza del Segmento e alla velocità massima alla quale il Treno può percorrerlo.
- Uscita dal Segmento e richiesta di Accesso alla Stazione successiva (`next_station`) presso la Piattaforma indicata da `next_platform`, per eseguire l'azione `action`.
- Se `action = ENTER` allora effettua discesa e salita dei Viaggiatori in attesa dell'arrivo del Treno.

- Se ci sono ancora Tappe da percorrere nel percorso (**Route**), allora il l'indice della prossima tappa del Descrittore del Treno corrente viene incrementato, e lo stesso Descrittore viene inserito in una delle code di **Train_Pool** (in base alla priorità).

3.3.2.1 Gestione della Tabella degli Orari

Per limitare la dimensione della Tabella degli Orari per ciascun percorso, esso mantiene un numero N di corse. Essa viene fornita dalla Biglietteria Centrale, la quale dovrà essere sempre aggiornata relativamente alla corsa correntemente percorsa da un Treno per poter permettere la prenotazione dei Biglietti per Treni di tipo FB (si veda il paragrafo 3.3.3.4). Per poter consultare la **Time_Table**, vengono quindi utilizzati due indici:

- **Current_Run** che mantiene l'indice della Corsa corrente.
- **Current_Stage** che serve ad accedere l'orario per la tappa successiva.

Tali indici vengono aggiornati dal Treno al momento della partenza da una Stazione per raggiungere la Tappa successiva. Nel caso in cui il Treno ultimi una corsa, esso incrementa l'indice **Current_Run**, ed invia un messaggio remoto *sincrono* alla Biglietteria Centrale comunicando il passaggio alla Corsa successiva. Ci sono due possibili risultati alla richiesta di aggiornamento:

- Si è raggiunta l'ultima Corsa ($N -esima$), e quindi viene restituita una nuova **Time_Table** contenente gli orari per N corse, composta dalla corsa $N -esima$ della Tabella precedente in prima posizione, e da $N - 1$ Corse calcolate. L'indice **Current_Run** viene posto ad 1, e viene memorizzato l'identificativo della Corsa corrente **Current_Run_Id**, il quale può essere ad esempio, un numero progressivo che la identifica.
- Non si è raggiunta l'ultima corsa, e quindi viene aggiornata la corsa corrente presso la Biglietteria Centrale e restituito l'identificativo della stessa.

La scelta di riportare solo l'orario di partenza nella definizione della Tabella degli orari, permette di risolvere i problemi causati dal passaggio di alcuni Treni attraverso Regioni su nodi distribuiti, dovuti, ad esempio, dai clock non sincronizzati dei nodi di calcolo che compongono il sistema, o dai ritardi che possono essere introdotti dalla trasmissione sulla rete. Si supponga una differenza in valore assoluto Δt tra i clock t_1 e t_2 di due Nodi N_1 ed N_2 , e supponiamo di avere un treno T che viaggia da N_1 ad N_2 . Si presentano i seguenti due casi:

- $t_1 = t_2 + \Delta t$: il Treno T localmente ad N_2 potrà avere un ritardo aggiuntivo compreso tra 0 e Δt rispetto all'eventuale ritardo accumulato in N_1 ;
- $t_2 = t_1 + \Delta t$: il Treno T si ritroverà in anticipo rispetto al clock di N_1 , e quindi vi è la possibilità che prolunghi la sua attesa.

3.3.2.2 Accesso ad un Segmento

L'accesso alla risorsa protetta Segmento è regolato da una interfaccia ben definita, che permette:

- Ingresso.
- Uscita.

Per mantenere l'ordine di accesso, ciascun Segmento è dotato di una Coda FIFO (**Train_Queue**) che conterrà i Descrittori dei Treni correntemente in transito. Tale coda avrà una capienza massima per limitare il numero di accessi consecutivi da una singola direzione.

Ingresso

La richiesta di accesso (**Enter**) al segmento avviene in mutua esclusione tra tutti le entità Treno. In ogni momento quindi solo una entità eseguirà all'interno della risorsa protetta. Una volta ottenuta la risorsa ciascun Treno compie le seguenti operazioni:

- Inserimento del Descrittore nella coda **Train_Queue**;
- Aggiornamento della velocità di percorrenza del Treno entrato, in base a quella dei Treni che lo precedono.
- Nel caso in cui la risorsa risulti vuota (viene consultato il flag booleano che mantiene questa informazione), allora viene modificato il valore di un flag booleano **Free** che permette di indicare lo stato occupato della risorsa, e memorizzata la stazione di provenienza del Treno.

Una volta terminate queste operazioni, il thread rappresentante il Treno rilascia la risorsa e, basandosi sulla lunghezza del Segmento e sulla velocità da mantenere, simula la percorrenza rendendosi inattivo (non competitivo per l'ottenimento della CPU) per un tempo dato dalla semplice equazione: $Time = Segment_Length / Actual_Speed$.

Data la possibilità di percorrenza multipla del Segmento, si presentano diverse problematiche: nel caso in cui una volta ottenuta la risorsa protetta Segmento, un Treno richieda l'accesso nella direzione opposta a quella dei Treni che percorrono il Segmento (ovvero abbiamo la situazione in cui il flag booleano `Free = False`, e la stazione di provenienza memorizzata presso il Segmento è diversa da quella del Treno richiedente) allora questo dovrà attendere fino a che il Segmento non si sarà liberato dai Treni in transito. Questa attesa dev'essere tale da evitare starvation del Treno in attesa.

Una primo approccio possibile per risolvere questo problema è prevedere una coda, con politica FIFO, per poter permettere attesa su guardia booleana, internamente alla risorsa Segmento, per i Treni provenienti dalla direzione opposta rispetto al senso di marcia corrente: tali Treni dovranno avere priorità maggiore nell'accedere al Segmento appena esso diviene libero rispetto ad altri Treni che sopraggiungono successivamente. Indicheremo questa coda con `Waiting_Queue`. Questi accorgimenti non risultano però sufficiente a garantire che i Treni nella coda avranno accesso al Segmento in qualche momento: si consideri, ad esempio, la presenza di un percorso circolare composto da N Segmenti, e di M Treni che viaggiano lungo tale percorso in senso orario in modo tale che in ogni istante ci sia almeno un treno all'interno di ciascun Segmento. Se ora aggiungiamo al sistema un Treno che viaggia in direzione opposta, allora esso, adottando la semantica di accesso descritta, non riuscirà mai a percorrere uno dei Segmenti.

Una possibile soluzione a questo problema, è prevedere un *numero massimo di accessi consecutivi per direzione*. Nella coda `Waiting_Queue` vengono quindi mantenute *tutte* le entità Treno che non possono accedere correntemente, sia perché provenienti dalla direzione opposta, sia perché il numero massimo di accessi da una direzione è stato raggiunto. Sia `Access_Number` il numero di accessi nella direzione corrente, e siano `First_Direction_Queue` e `Second_Direction_Queue` contatori del numero di Treni in attesa di accedere al Segmento per ciascuna delle due direzioni possibili.

La semantica adottata per la regolazione dell'accesso al Segmento è la seguente:

- Sia T il thread Treno che esegue correntemente. Esso potrà accedere al segmento se e soltanto se una delle seguenti condizioni è verificata:

- **Free = True** e il numero massimo di accessi per direzione non è stato raggiunto.
- **Free = True** e il numero massimo di accessi è stato raggiunto, ma il numero di Treni in attesa di accedere in direzione opposta è 0.
- **Free = False**, la direzione corrente dei Treni nel segmento è la stessa di *T* ma il numero massimo di accessi per direzione non è stato raggiunto.
- **Free = False**, la direzione corrente dei Treni nel segmento è la stessa di *T*, e il numero massimo di accessi per direzione è stato raggiunto ma il numero di Treni in attesa di accedere in direzione opposta è 0.
- Se *T* può accedere allora:
 - Se **Free = True** allora occupa il Segmento (imposta **Free** a **False**) e assegna a **Access_Number** il valore 1, se la direzione di *T* è diversa da quella corrente memorizzata nel Segmento;
 - Nel caso in cui la direzione di *T* sia uguale a quella corrente memorizzata nel Segmento, incrementa di 1 il valore di **Access_Number** se esso è inferiore al limite massimo consentito.
 - In ciascuno dei due casi infine, inserisce il Descrittore del Treno nella coda **Train_Queue** e aggiorna la Velocità di percorrenza.
- Se *T* non può accedere, allora a seconda della direzione con la quale intende percorrere il Segmento incrementa di 1 il valore di **First_Direction_Queue** oppure **Second_Direction_Queue**, e accoda il thread *T* presso la coda **Waiting_Queue**.

Una volta che il Segmento si sarà liberato (**Free=True**) allora ciascun Treno in attesa nella coda **Waiting_Queue** potrà ritentare l'accesso al Segmento (la coda viene svuotata e ripopolata) e, nel caso in cui possa accedere, decrementa il valore di **First_Direction_Queue** o di **Second_Direction_Queue**, a seconda della direzione di percorrenza. Per semplicità, si può assumere che vi sia uno spazio apposito dove i Treni possano attendere affinché si liberi il Segmento.

Uscita

L'uscita (**Leave**) da una Segmento da parte di una entità Treno, ha come prerequisito l'aver avuto accesso al Segmento. É quindi possibile

assumere che il descrittore del Treno che intende uscire dal Segmento sia presente all'interno della coda **Train.Queue**, e che inoltre al momento di tale richiesta abbia già terminato il tempo previsto di attesa che simula la percorrenza.

Il requisito principale richiesto dall'azione di uscita è che essa avvenga in *maniera ordinata*, in base all'ordine con cui i Treni hanno avuto accesso al Segmento. La soluzione apportata mira a garantire tale ordine di uscita, senza fare alcuna assunzione sull'ordine con il quale i Treni verranno scelti per l'esecuzione dallo scheduler. La semantica adottata è quindi la seguente:

- Viene controllato per prima cosa se il Treno corrente è effettivamente il prossimo che deve uscire secondo l'ordine di ingresso stabilito da **Train.Queue**.
- Se è il prossimo (vengono confrontati i Descrittori) allora il Treno può abbandonare la risorsa protetta, e di conseguenza viene rimosso dalla coda **Train.Queue**. Nel caso in cui il Treno corrente fosse l'ultimo, e che ci fossero Treni nella coda **Waiting.Queue**, allora viene permesso a quest'ultimi di ritentare l'accesso al Segmento.
- Altrimenti il Descrittore del Treno corrente viene posto in attesa su una coda di uscita; tale coda verrà riesaminata ogni volta che un Treno abbandonerà il Segmento (disponendo ad esempio di istruzioni **wait** e **signal**, ciascun Treno uscente invocherà **signal** su una condizione), e se il Treno in esecuzione non sarà nuovamente il Treno destinato ad uscire, esso verrà riaccodato.

La semantica descritta, garantisce ingresso sequenziale a molteplicità limitata, e uscita ordinata secondo l'ordine di ingresso. Il passo successivo consiste nel garantire l'accesso alla Stazione con lo stesso ordine di uscita per tutti i Treni provenienti dallo stesso Segmento.

3.3.2.3 Accesso ad una Stazione Regionale

I prerequisiti alla richiesta da parte di un Treno T di accesso ad una Stazione sono:

- Il Treno T ha avuto accesso ad un Segmento S che collega la stazione corrente a quella dalla quale proviene. Ciò significa che il suo Descrittore sarà stato inserito nella coda **Train.Queue** di S .
- Il Treno T ha simulato la percorrenza su S

3.3. INTERAZIONE TRA LE ENTITÀ

Pre-condizioni:

- Il Thread che gestisce il treno corrente ha avuto accesso ad un Segmento in ingresso alla stazione Station.
- L'identificativo del Treno è inserito nella coda FIFO del controllore di accesso relativo al Segmento di provenienza.
- La percorrenza sul segmento è stata simulata e il Treno è uscito dal Segmento.

Sezione Critica, ad accesso mutuamente esclusivo.

Normale esecuzione.

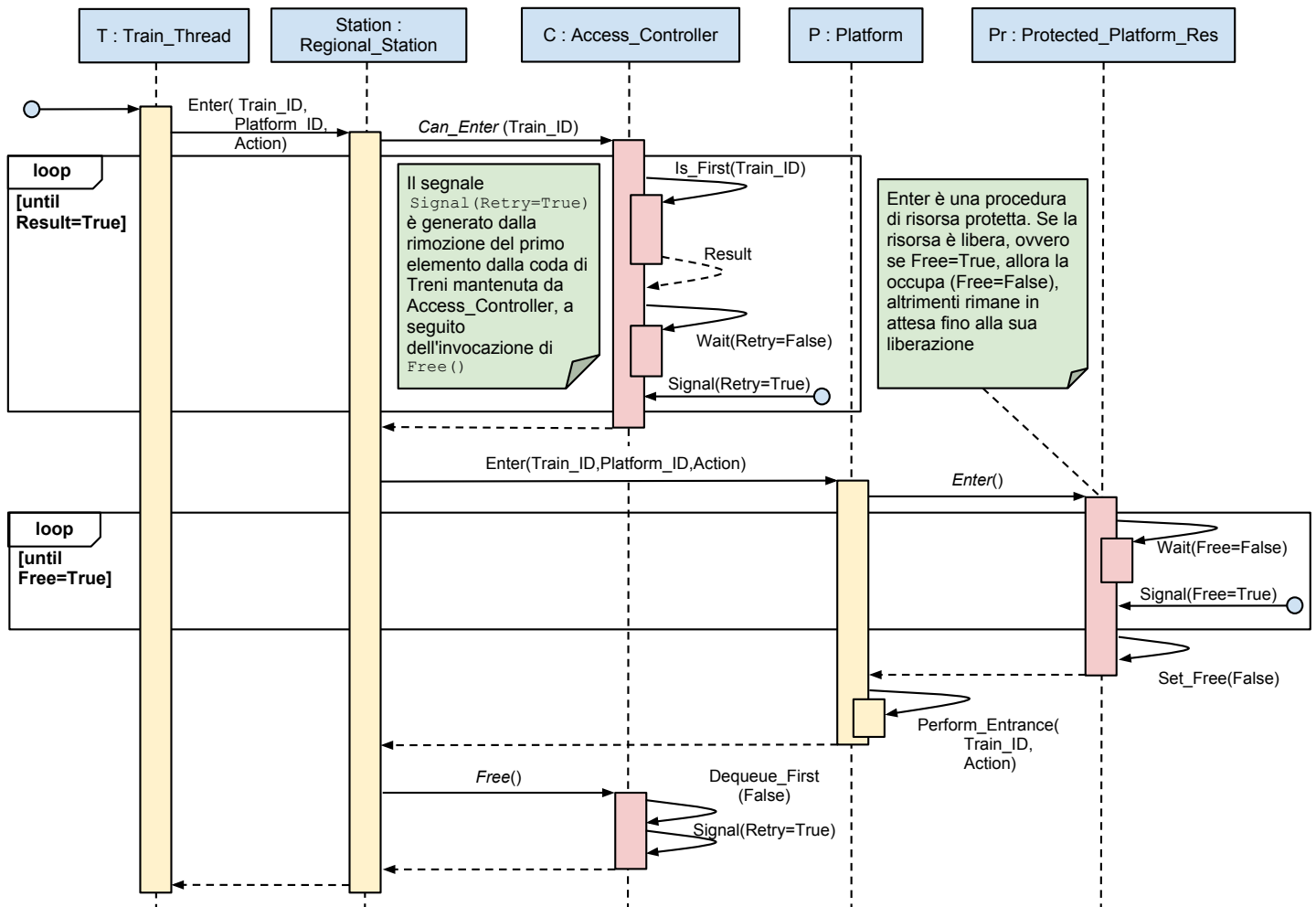


Figura 3.3: Diagramma di Sequenza, operazioni necessarie per l'ingresso ad una Piattaforma.

- Il Treno T uscito dal Segmento S , quindi è stato rimosso dalla coda `Train_Queue` di S .

Il diagramma di sequenza in figura 3.4 mostra le operazioni che portano alla richiesta ordinata di accesso, e all'ingresso presso una Piattaforma.

Ingresso Ordinato

Per tutti i Treni provenienti dallo stesso Segmento, è necessario mantenere un ordine di richiesta di accesso alla Stazione successiva uguale a quello utilizzato per l'uscita dal Segmento. Poiché il sistema non può fare assunzioni sulle scelte dello scheduler che verrà adottato, è necessario introdurre un meccanismo che riesca a mantenere l'ordine di richiesta di accesso anche nel caso in cui, il thread che rappresenta il Treno appena uscito dal Segmento venga prerilasciato e venga eseguito il thread rappresentante il Treno successivo.

Ho vagliato le seguenti soluzioni possibili:

1. Rappresentazione della Stazione come entità passiva ad accesso mutuamente esclusivo. Essa mantiene al suo interno una coda per Segmento, del tutto simile alla coda `Train_Queue` interna ai Segmenti, e popolata parallelamente a `Train_Queue`. In questo modo è semplice garantire (con un meccanismo simile a quello utilizzato per l'uscita da un Segmento) un accesso ordinato. Questa soluzione ha però uno svantaggio evidente: la richiesta di accesso avviene in mutua esclusione anche tra i Treni provenienti da Segmenti diversi, e che quindi si ritroveranno a dover superare un punto di sincronizzazione inutile, se diretti a Piattaforme diverse della Stazione.
2. Una seconda possibilità prevede la presenza, all'interno di ciascuna Stazione, di una risorsa ad accesso mutuamente esclusivo per ciascun Segmento entrante, la quale si occuperà di garantire l'ordine di accesso (tale ordine sarà dato da una coda interna aggiornata in modo analogo alla soluzione precedentemente illustrata). Una volta che il Treno ha guadagnato il permesso di accedere in mutua esclusione alla risorsa protetta di controllo, esso avrà il permesso di accedere alla Piattaforma corretta, in modo concorrente con i Treni provenienti da altri Segmenti entranti. La coda con politica di ordinamento FIFO che indicherà l'ordine di accesso, sarà aggiornata dal Segmento mediante un'invocazione ad una procedura di interfaccia della Stazione (ad esempio `Add_Train`). In questo

modo la Stazione diventerà solo un'interfaccia utilizzabile per l'accesso alle piattaforme, e inoltre i vincoli di ordinamento e accesso concorrente alle Piattaforme da Treni provenienti da Segmenti diversi saranno garantiti.

Lo svantaggio di utilizzare questa soluzione risiede nella creazione delle entità protette, una per ciascun Segmento entrante, che regolano l'accesso ordinato, e quindi spostano parte della conoscenza della topologia della rete ferroviaria anche sulle Stazioni, rendendone più complessa la configurazione iniziale.

3. La terza soluzione esaminata, che è quella effettivamente utilizzata nel progetto, è simile alla soluzione precedente, ma a differenza di essa opera una popolazione dinamica della struttura dati che andrà a contenere le risorse protette (**Access_Controller**) che garantiscono l'ordinamento. Ciascun Treno nell'accedere alla Stazione, includerà anche un'identificativo univoco del Segmento di provenienza, e se per esso non esisterà un controllore degli accessi, allora esso verrà creato. Questa variante ha il vantaggio per il quale le stazioni non devono necessariamente essere a conoscenza della topologia del sistema ferroviario; inoltre l'allocazione di controllori sarà limitata al massimo al numero di Segmenti in ingresso.

Il controllore di accessi (**Access_Controller**) ha quindi il compito di fornire da semaforo internamente alla Stazione, in modo tale ogni volta da lasciar passare solamente il Treno (il thread che lo esegue) che effettivamente è primo nella coda. Siano **Enter** e **Leave** rispettivamente le due procedure protette del semaforo, allora l'accesso alla Piattaforma verrà regolato nel seguente modo:

- Il Treno *T* usa **Enter** per poter accedere alla prossima Piattaforma.
- Se *T* è effettivamente il primo della Coda allora
 - prosegue all'*accesso alla Piattaforma*;
 - libera l'**Access_Controller** con **Free**.
- Altrimenti viene messo in attesa del proprio turno su una apposita coda (anch'essa FIFO). I Treni in attesa su questa coda verranno risvegliati ogni volta che un Treno effettuerà un accesso e una successiva chiamata a **Free**.

La coda interna a ciascun **Access_Controller** viene aggiornata nel momento in cui ciascun Treno esce dal Segmento corrispondente.

Ingresso in una Piattaforma

Dopo aver superato la barriera di controllo d'accesso **Access_Controller**, ciascun Treno è libero di richiedere l'accesso alla Piattaforma successiva prevista dal percorso, interna a ciascuna Stazione, poiché sicuramente sarà l'unico ad eseguire a questo punto. La semantica di accesso su di una generica Piattaforma *P* (supponiamo disponibile mediante procedura eseguita in mutua esclusione) è la seguente:

- Se *P* è libera, ovvero il flag booleano **Free** sarà **True**, allora
 - Il Treno occupa la Piattaforma (**Free = False**).
 - Se l'azione (**action**) prevista dal Percorso è **ENTER** allora:
 - * esegue l'operazione di **Discesa dei Viaggiatori**;
 - * rilascia la risorsa, in modo tale che altri Treni vi possano accedere, e rimane in attesa fino all'orario prestabilito di partenza;
- Se invece la Piattaforma risulta occupata (**Free = False**), il Treno viene accodato presso una coda di Treni interna alla Piattaforma. Rappresentando la Piattaforma come una risorsa protetta da monitor, l'accodamento si traduce in una attesa su condizione, **wait(Free = True)**.

L'Operazione di **Discesa dei Viaggiatori**, si basa sulla possibilità che presso la Piattaforma corrente *P* vi siano Viaggiatori all'interno della coda **Arrivals_Queue** in attesa di un evento generato da uno specifico Treno, ovvero il suo arrivo presso *P*. L'operazione di Discesa dei passeggeri ha come preconditione l'accesso alla Piattaforma da parte di un Treno *T* descritto in precedenza, ed è realizzata dalle seguenti azioni (eseguite dal thread associato a *T* in mutua esclusione all'interno della risorsa protetta *P*):

- Viene estratto ciascun Viaggiatore *V* dalla coda **Arrival_Queue**, e per ciascuno di essi:
 - Se il Treno atteso da *V* (informazione recuperabile dalla Tappa corrente del suo Biglietto) è proprio *T* allora
 - * il numero di posti occupati di *T* viene decrementato;
 - * se la Stazione corrente *S* **non** è la destinazione che *V* deve raggiungere allora:
 - l'Operazione **LEAVE** del Viaggiatore viene inserita nella coda di operazioni di **Traveler_Pool**;

3.3. INTERAZIONE TRA LE ENTITÀ

- viene incrementato l'indice `Next_Stage` nel Biglietto del viaggiatore V .
- Se T invece non è il Treno atteso da V , quest'ultimo viene reinserito nella coda `Arrivals_Queue`.

Le operazioni necessarie ad attuare la Discesa dei Viaggiatori, possono essere eseguite sia internamente che esternamente alla risorsa a protezione della Piattaforma. Le due soluzioni sono logicamente equivalenti, tuttavia ho preferito mantenere l'esecuzione del codice per le discesa esterno, per limitare il compito svolto dalla Risorsa protetta a Semplice semaforo per garantire l'accesso mutuamente esclusivo.

Uscita da una Piattaforma

Pre-condizioni:

- Un thread che gestisce l'esecuzione delle istruzioni per un Treno ha avuto accesso alla Piattaforma, quindi il valore del flag `Free` è `False`.
- Il Thread che esegue all'interno della Piattaforma ha effettuato Discesa dei Viaggiatori e attesa fino all'orario prestabilito per la partenza.

- Sezione Critica, ad accesso mutuamente esclusivo.
- Normale esecuzione.

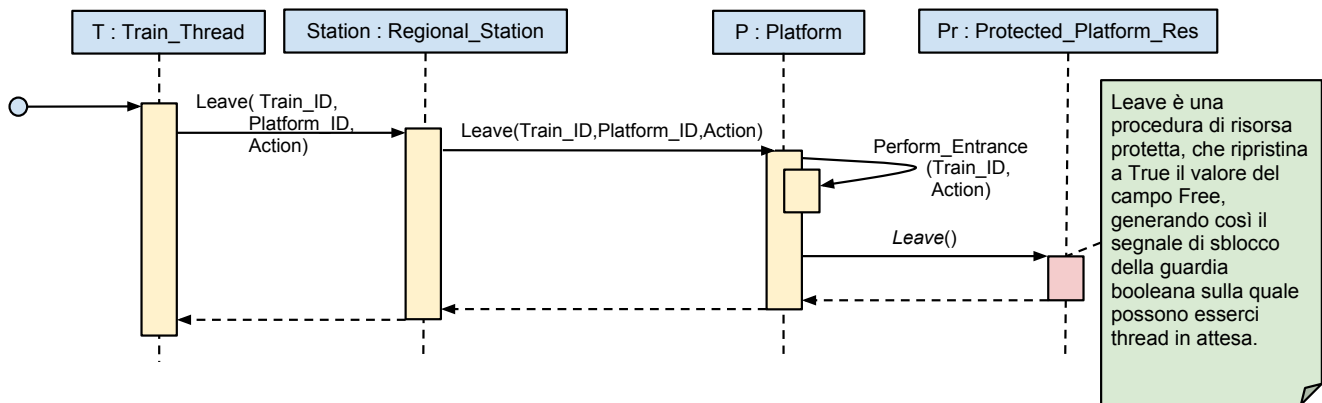


Figura 3.4: Diagramma di Sequenza, operazioni necessarie per l'uscita da una Piattaforma.

L'uscita da una Piattaforma P necessita di due prerequisiti principali:

- Il thread che gestisce il Treno ha prima effettuato l'ingresso, e quindi `Free = False` presso la risorsa a protezione della Piattaforma, ed è già stata effettuata la Discesa dei Passeggeri (se prevista dal Percorso del Treno).
- È stato generato l'evento che notifica l'arrivo dell'orario previsto per la partenza.

A questo punto, le operazioni effettuate (eseguite in mutua esclusione dal thread corrente) sono:

- Viene effettuata la Salita dei Viaggiatori in attesa presso *P*.
- Il Treno corrente registra il proprio passaggio presso la Piattaforma, memorizzando in una struttura dati apposita `Last_Train_Run` il proprio identificativo univoco e l'identificativo univoco della Corsa corrente `Current_Run_Id`.
- La risorsa viene rilasciata dal Treno in esecuzione, cambiando il valore del flag `Free` a `True`.

La **Salita dei Viaggiatori** è simile alla discesa dei Passeggeri presentata al punto precedente. Essa viene eseguita in mutua esclusione, ed è composta dalle seguenti azioni:

- Viene estratto ciascun Viaggiatore *V* dalla coda `Leaving_Queue` di *P*, e per ciascuno di essi:
 - Se il Treno atteso da *V* (informazione recuperabile dalla Tappa corrente del suo Biglietto) è proprio il Treno correntemente in esecuzione *T* e *se la capienza massima di T non è stata raggiunta* allora:
 - * il numero di posti occupati di *T* viene incrementato;
 - * l'Operazione `ENTER` del Viaggiatore viene *eseguita* a differenza di quanto avviene nella fase di Discesa dei Passeggeri: in questo modo infatti si avrà la garanzia che tutti i Viaggiatori saliti a bordo del Treno saranno in attesa nella coda `Arrival_Queue` della Piattaforma di Stazione corretta, nel momento in cui il Treno vi accederà durante il proprio viaggio.
 - Se *T* invece non è il Treno atteso da *V*, allora viene verificato se il Treno per il quale esso è in attesa non sia già passato, qualora esso sia di tipo `FB`: per effettuare tale controllo viene acceduta la struttura dati `Last_Train_Run` e verificato se la corsa per la quale il Viaggiatore corrente è in attesa del Treno non sia stata già effettuata. In tal caso viene inserita l'operazione `BUY_TICKET` per il Viaggiatore corrente nella coda di `Traveler_Pool`, per permettere l'acquisto di un nuovo Biglietto per raggiungere la destinazione prevista a partire dalla Stazione corrente. In tutti gli altri casi, il Viaggiatore viene re-inserito nella coda `Leaving_Queue`.

Anche in questo caso, le operazioni che attuano la discesa dei passeggeri possono essere eseguite internamente alla sezione critica definita dalla risorsa a protezione della Piattaforma, o esternamente, per poi permettere l'acquisizione da parte di un altro Treno liberandola (**Free = True**). Anche in questo caso ho preferito la seconda soluzione.

3.3.2.4 Accesso ad una Stazione di Gateway

Alcuni Treni seguono percorsi che attraversano più Regioni. Tra le tappe che compongono tali percorsi, alcune indicheranno l'attraversamento di Regioni di Gateway, introdotte nella sezione 3.1.1.1. Le azioni di Ingresso, Salita dei Viaggiatori, e Ripartenza presso questo tipo di stazioni seguono le stesse regole descritte per le stazioni Regionali nella sezione 3.3.2.3. Esse hanno quindi un effetto locale alle Regioni (nodi) di provenienza e di destinazione. Per quanto riguarda invece la Discesa dei Viaggiatori, essa può prevedere un *trasferimento remoto* dei Viaggiatori in attesa di arrivo.

Il Passaggio di un Treno da una regione alla successiva può essere schematizzato come segue: siano $G1$ e $G2$ Stazioni di Gateway connesse, che colleghino le regioni $R1$ ed $R2$, con $G1 \in R1$, e sia $G2 \in R2$. Un Percorso che attraversa i due Gateway conterrà almeno una Tappa $T1$ tale per cui il campo `next_station` avrà il valore $G1$, `destination_platform` una delle Piattaforme possibili per effettuare l'accesso P , e `region` la regione $R1$, e una tappa $T2$ tale per cui il campo `next_station` avrà il valore $G2$, `destination_platform` la stessa piattaforma specificata in T , e `region` la regione $R2$. Le operazioni eseguite saranno le seguenti:

- Il Treno corrente T effettua l'accesso alla Stazione $G1$, Piattaforma P .
- T , se previsto dal Percorso, effettua Discesa dei Viaggiatori. Tale azione è simile alla Discesa descritta in sezione 3.3.2.3, ma se un Viaggiatore una volta sceso proseguirà il proprio percorso su un nodo diverso da quello corrente, esso verrà trasferito mediante messaggio remoto al nodo successivo, e solo a questo punto verrà inserita l'Operazione **ENTER** del Viaggiatore nella coda di operazioni di **Traveler_Pool** locale al nodo destinazione.
- Il descrittore del Treno corrente D_T viene serializzato (*marshalling*), e inviato tramite invocazione remota alla Stazione di Gateway della Regione $G2$ ad essa connessa. L'individuazione dell'indirizzo della regione specificata nel parametro `region`, avviene interrogando il **Name_Server**, se esso non è già presente in una cache locale.

- Il flusso ciclico di istruzioni eseguite dal thread che gestisce T viene interrotto (esso potrà così ottenere un nuovo Descrittore di Treno ed eseguire per esso le proprie operazioni).
- Presso la regione $R2$, stazione di Gateway $G2$, vengono eseguite le seguenti operazioni:
 - Il Descrittore viene de-serializzato (*unmarshalling*).
 - I dati del Descrittore $D_{T'}$ presenti nella regione $R2$ vengono aggiornati con quelli ricevuti.
 - Viene ottenuta la Piattaforma in mutua esclusione e ne viene impostato il campo **Free** a **False**.
 - Vengono operate attesa fino all'orario di partenza previsto (secondo il clock del nodo corrente), Salita dei Viaggiatori e Partenza dalla Stazione come per le Stazioni Regionali.
 - Viene restituito un messaggio di *acknowledgement* al nodo $R1$, che comunica l'avvenuta esecuzione delle operazioni.
- Una volta ricevuto il messaggio di *acknowledgement*, presso il nodo $R1$, viene liberata la piattaforma corrente (**Free** viene impostato a **True**) in modo tale da permettere ad altri Treni di occuparla.

Ciò che garantisce la correttezza della soluzione presentata, relativamente a discesa e salita dei passeggeri locale, è la modalità con la quale il Viaggiatore viene accodato presso la Stazione di Gateway come descritto nella sezione 3.3.1, ovvero in modo tale per cui:

- Presso le coda **Arrival_Queue** delle Piattaforme nel nodo di partenza vi saranno tutti e soli i passeggeri in attesa di scendere presso la Stazione di Gateway, se previsto dal loro Biglietto.
- Presso le code **Leaving_Queue** delle Piattaforme nel nodo di destinazione vi saranno invece solamente i Viaggiatori che vogliono raggiungere una destinazione interna al nodo corrente.

Si noti che la soluzione riportata prevede lo scambio di due messaggi remoti, il primo per la transizione del Treni tra le Regioni, e il secondo di *acknowledgement* per poter liberare la risorsa Piattaforma presso il nodo di partenza. Di fatto, data l'inaffidabilità della rete, è possibile che uno dei due messaggi scambiati non venga ricevuto dal nodo di destinazione. Abbiamo quindi due casi:

- *L'invio del primo messaggio fallisce.* In questo caso, il flusso di esecuzione del thread che gestisce il Treno viene interrotto. Per semplicità si può pensare che il Treno sia cancellato a causa di un guasto, o si può ridurre il Percorso fino alla Tappa che ha causato l'errore, dopo essersi accertati dell'effettiva irraggiungibilità del nodo destinazione.
- *Il messaggio di acknowledgement non viene consegnato.* In questo caso il problema è più grave. Il Treno presso il nodo di destinazione continua la propria corsa, mentre la Piattaforma abbandonata rimane occupata, e quindi inutilizzabile dai Treni che sopraggiungono. Per risolvere questo tipo di problema è possibile prevedere un tempo massimo di occupazione della Piattaforma, oltre il quale richiedere l'effettivo stato di occupazione della Piattaforma presso la Stazione di Gateway della Regione di destinazione e, nel caso in cui risultasse libera, procedere alla liberazione della stessa, impostando **Free** a **True**.

3.3.3 Creazione di un Biglietto

Per la creazione di un Biglietto, necessario per permettere ai Viaggiatori di poter raggiungere una destinazione, ho utilizzato un algoritmo che coinvolge le componenti (distribuite) introdotte in sezione 3.1.2.

Di seguito viene riportata una descrizione delle fasi previste dalla soluzione progettata.

3.3.3.1 Richiesta di Creazione

La richiesta di creazione di un **Ticket** da parte di un Viaggiatore, viene operata da un thread appartenente al pool di **Traveler_Pool** che esegue l'operazione **CREATE_TICKET** (come descritto precedentemente in sezione 3.3.1.1). Tale operazione, effettua una richiesta di creazione alla biglietteria interna alla stazione di partenza *S*, la quale richiederà la creazione effettiva alla Biglietteria Regionale, se lo stesso **Ticket** non è presente in una cache locale.

3.3.3.2 Creazione del Ticket

Siano **From** e **To** rispettivamente l'identificativo della Stazione di partenza, e l'identificativo della Stazione di destinazione. Le operazioni svolte dalla Biglietteria Regionale sono:

- Se **To** appartiene alla Regione corrente, viene creato il **Ticket**, effettuando le seguenti operazioni:
 - Si considera il percorso più breve da **From** a **To**, che indicheremo con $Path = \{s_1, \dots, s_N\}$. Questo percorso è ottenuto applicando un semplice algoritmo di cammino minimo sul grafo avente come vertici le Stazioni, e come archi non direzionati i Segmenti che li collegano. Il cammino può minimizzare, ad esempio, la lunghezza totale del percorso.
 - Il percorso *Path* viene intersecato con i Percorsi dei Treni (**Route**), per poter definire le Tappe che compongono il Biglietto. Sia $i = 1$, allora finché $i \leq N$:
 - * Ottieni i percorsi dei Treni (**Routes**) $R = r_1, \dots, r_k$ che contengono una Tappa *t* tale per cui i campi **Start_Station** e **Next_Station** sono rispettivamente s_i e s_{i+1} . Per ciascuno di questi percorsi, vengono ottenuti indice e posizione della tappa *t* al suo interno. A questo punto si procede all'individuazione del percorso che meglio si adatta al cammino minimo da seguire. Sia quindi $k = i$; per ciascuna route $r_j \in R$, a partire

3.3. INTERAZIONE TRA LE ENTITÀ

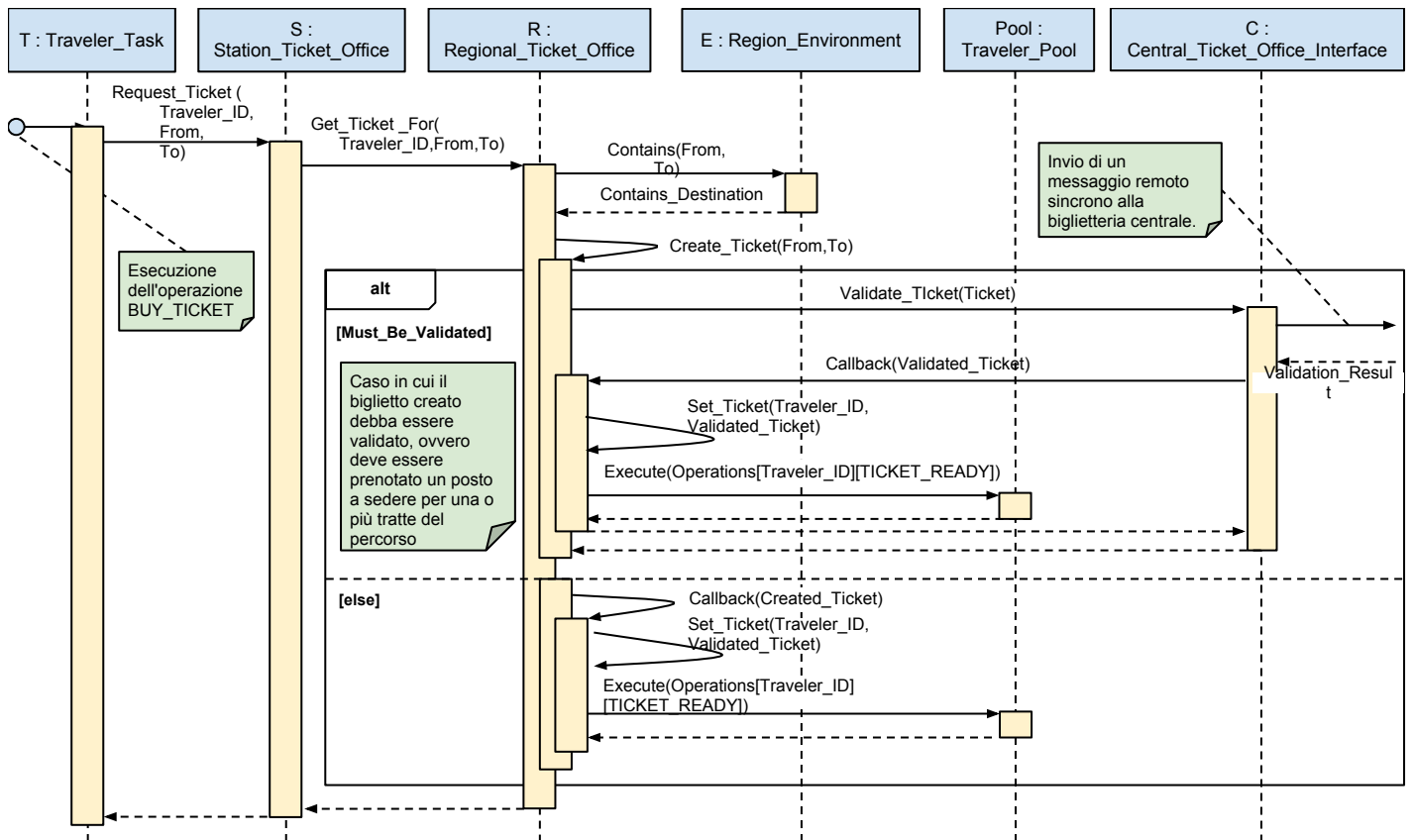


Figura 3.5: Diagramma di Sequenza, creazione di un Ticket per una destinazione *locale* alla regione di partenza.

dalla posizione di t in r_j , si procede ad estendere la corrispondenza. Viene quindi mantenuto il percorso con la corrispondenza di lunghezza massima *Max_Length*, memorizzandone l'indice in *Max_Match*.

- * Una volta stabilita la corrispondenza di lunghezza massima, viene creata una Tappa del Ticket:
 - *start_station* : indice della stazione di inizio dell'estensione;
 - *next_station* : indice della stazione di fine dell'estensione massima;
 - *train_id* : indice del Treno che percorre il percorso di indice *Max_Match*;
 - *start_platform* : indice della Piattaforma di partenza in t ;
 - *destination_platform* : indice della Piattaforma dell'ultima tappa;
 - *run_number* : identificativo della Corsa per la quale si effettua prenotazione. Inizialmente viene messa a 0 e modificata successivamente se necessario;
 - *next_region* : regione corrente.

- * i viene incrementato di *Max_Length*, per poter procedere all'individuazione della prossima corrispondenza di lunghezza massima.

- Una volta creato il Ticket, allora se esso conterrà almeno una Tratta che prevede l'utilizzo di un Treno a prenotazione (ovvero di tipo FB), allora si dovrà procedere alla *Validazione*, descritta nella sezione 3.3.3.4.
- Altrimenti, il Ticket creato viene assegnato al Viaggiatore e viene quindi inserita l'operazione *TICKET_READY* nella coda di operazioni di *Traveler_Pool*.
- Se To non appartiene alla Regione corrente, allora viene effettuata una richiesta remota alla Biglietteria Centrale. È opportuno che la richiesta di creazione sia asincrona, in modo tale da permettere al thread che la effettua di non dover attendere attivamente per una risposta, e quindi

3.3. INTERAZIONE TRA LE ENTITÀ

di poter eseguire altre operazioni eventualmente presenti nella coda di `Traveler_Pool`.

In figura 3.5 è riportato un diagramma di sequenza che presenta le operazioni svolte per la creazione di un Ticket locale alla Regione dalla quale la richiesta è effettuata.

3.3.3.3 Richiesta di Creazione Remota

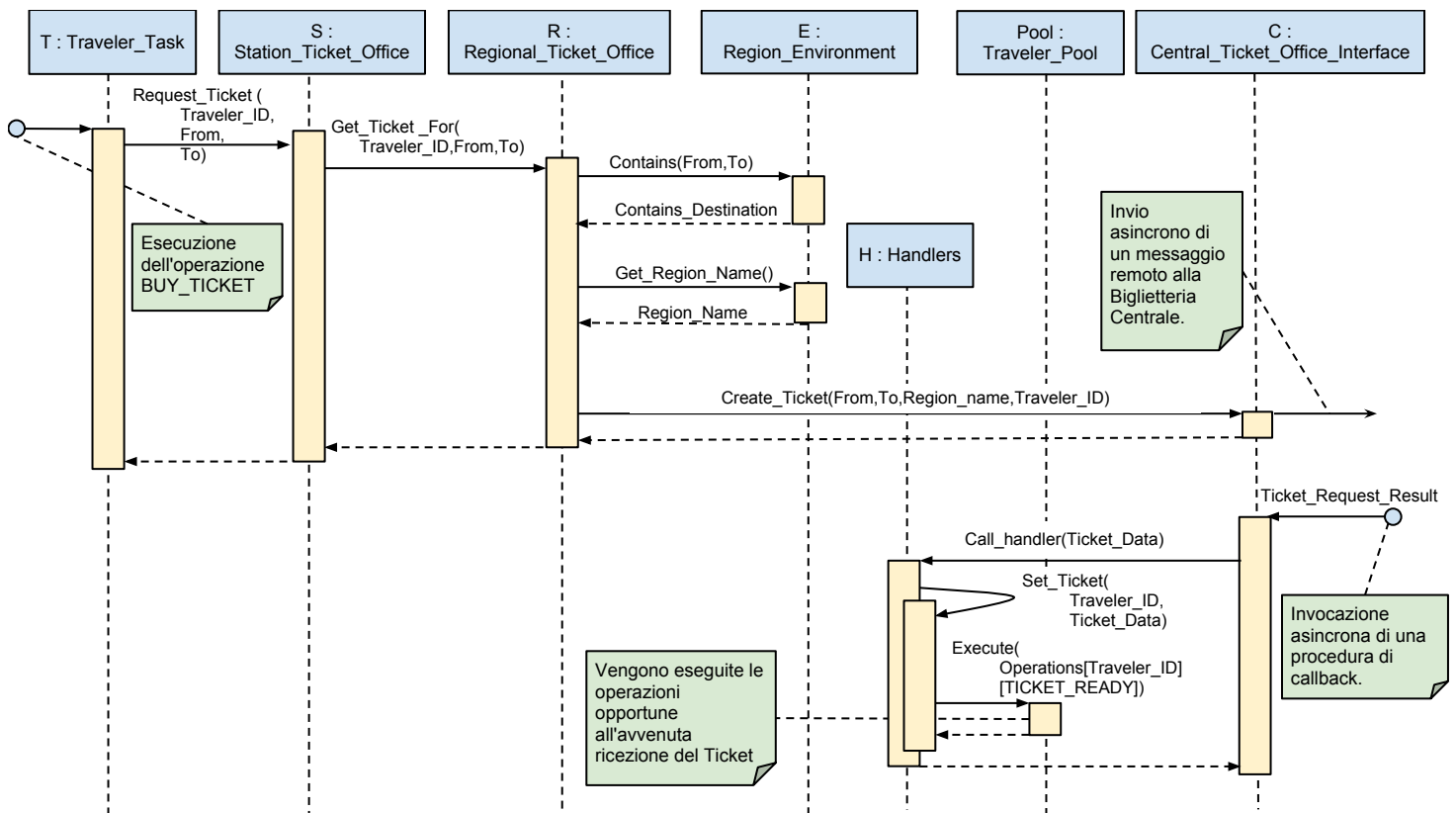


Figura 3.6: Diagramma di Sequenza, creazione di un Ticket per una destinazione *non appartenente* alla regione di partenza.

Una volta che la Biglietteria Centrale riceve, tramite l'interfaccia remota esposta, un messaggio remoto di richiesta di Creazione di un Biglietto, essa effettua 3 operazioni:

- Individua la Regione di appartenenza della destinazione `To`; se tale informazione non è presente nella cache locale mantenuta dalla Biglietteria Centrale, essa viene ricercata nel modo seguente:

- viene recuperato l'elenco completo delle Regioni (ovvero una lista di coppie (`Node_Name`, `Node_Address`)) dal *Server dei Nomi*;
 - per ciascun elemento dell'elenco, viene inviato un messaggio remoto, al quale ciascuna Regione risponde con **True**, se contiene la Stazione, o **False** in caso contrario.
- Se nessuna risposta positiva viene ricevuta, allora viene comunicato l'errore alla Biglietteria Regionale richiedente, inviando un messaggio di errore.
 - Nel caso in cui si abbia una risposta positiva da una Regione R allora:
 - Viene recuperata la lista R_1, \dots, R_n di Regioni attraverso le quali costruire il percorso per raggiungere la destinazione (dalla mappa `Links`).
 - Per ciascuna Regione R_i viene inviata una richiesta remota *sincrona* per ottenere un Ticket che collega le varie stazioni di Gateway interne: i Biglietti ottenuti una volta uniti, permettono di raggiungere `To` a partire da `From`. La lista di Ticket ottenuta viene *Validata* in modo tale da prenotare posti a sedere se necessario, per ciascun Biglietto.
 - Il processo di unione dei vari **Ticket** raccolti, avviene fondendo Tappe che usufruiscono dello stesso Treno eliminando se necessario il passaggio per le stazioni di Gateway; il Biglietto risultante infine viene inviato come risposta al Nodo richiedente, presso il quale verrà assegnato al viaggiatore richiedente, per poi inserire l'operazione `TICKET_READY` nella coda di `Traveler_Pool`.

3.3.3.4 Validazione di un Ticket

La Validazione di un Biglietto è necessaria qualora esso preveda l'utilizzo di Treni a prenotazione (ovvero di tipo **FB**). Se infatti anche solo una delle Tappe del percorso di un Treno appartenente a questa categoria che il Biglietto prevede di percorrere, non ha un numero sufficiente di posti a sedere, esso non potrà essere erogato. La Biglietteria Centrale, per ciascun Treno a prenotazione T , mantiene $N > 1$ array di numeri interi, uno per ciascuna Corsa c , rappresentanti il numero di posti liberi a sedere per ciascuna Tappa del Percorso (`Route`) di T , per la Corsa C . Essa mantiene inoltre l'indice della Corsa correntemente percorsa da T , `Current_Run`, e un identificativo per essa, `Current_Run_Id`. Con questi dati è quindi possibile verificare la possibilità di prenotare un posto a sedere per un insieme di Tratte, e quindi

prenotarli. Per semplicità, ho assunto che la prenotazione avvenga in mutua esclusione e per un'intera lista di Biglietti (caso in cui il percorso sia unione di Ticket raccolti da Regioni diverse, 3.3.3.3). Per ciascuna Tappa del Biglietto da validare, vengono quindi effettuate le seguenti operazioni:

- Vengono individuate le Tappe del Percorso del Treno T che verranno percorse secondo lo **Stage** corrente del Ticket in esame, siano esse $r.j, \dots, r.k$.
- Viene individuata la corsa di riferimento per la prenotazione rc , ovvero quella che permette una possibile prenotazione del tratto composto da $r.j, \dots, r.k$ in base all'orario in cui la richiesta viene effettuata alla Biglietteria Centrale.
- Con questi dati, viene verificata la disponibilità per le Tappe da j a k della Corsa rc :
 - Nel caso in cui non vi siano posti a sufficienza (almeno una delle tappe ha 0 posti liberi), la procedura di validazione termina con esito negativo, e viene comunicato un messaggio di errore al richiedente.
 - Se c'è disponibilità, allora vengono memorizzati i, j, rc , per effettuare le modifiche apposite successivamente.

Una volta terminata in maniera positiva la fase di verifica della disponibilità, con i dati memorizzati vengono apportate le modifiche per attuare la prenotazione, ovvero viene decrementato di 1 il numero di posti liberi per le Tappe individuate.

Nella definizione del processo di creazione e validazione dei Ticket, ho vagliato l'ipotesi di distribuire l'informazione relativa alla prenotazione dei Treni sulle varie regioni, in modo tale che ciascuna Biglietteria Regionale mantenesse il numero di posti liberi per una porzione di **Route** di ciascun Treno di tipo FB attraversante la Regione. Sebbene tale soluzione avrebbe permesso a ciascuna Biglietteria Regionale di risolvere localmente l'assegnazione di Ticket per destinazione interne alla Regione di appartenenza, essa avrebbe reso troppo complessa la validazione di un Biglietto che copre più Regioni in quanto:

- Le prenotazioni su Regioni differenti si dovrebbero accumulare, e in caso di fallimento della prenotazione si renderebbe necessaria una operazione di rollback per ripristinare i posti prenotati.

- Vi è la possibilità di prenotazioni incompatibili: siano A e B Stazioni appartenenti a due regioni diverse, e sia C Stazione che le collega, tale per cui esiste una Tratta a prenotazione da A a C e da C a B . Siano T_1 e T_2 Viaggiatori, il primo vuole raggiungere B da A , il secondo A da B . Se richiedono un Ticket in maniera concorrente, vi è la possibilità che T_1 occupi l'ultimo posto rimasto per la tratta $A - C$, e che T_2 occupi l'ultimo posto per la Tratta $C - B$. In questo modo nessuno dei due otterrà un Ticket.

3.3.4 Terminazione distribuita

La Terminazione del Sistema progettata, sfrutta la presenza dell'entità di Controllo Centrale, la quale, per ciascun nodo di simulazione, invia un messaggio di terminazione. Internamente a ciascun nodo, la terminazione può avvenire semplicemente inviando un messaggio di terminazione ai pool di thread **Train.Pool** e **Traveler.Pool**, in modo tale che ciascun thread in attesa sulla rispettiva coda di Treni o Operazioni da eseguire, interrompa tale attesa e concluda la propria esecuzione. Una soluzione che si limiti a terminare singolarmente tutti i nodi di esecuzione, tuttavia questo non è sufficiente né a garantire che tutti i thread terminino la propria esecuzione, né che lo stato risultante sia consistente. In primo luogo infatti, ci possono essere thread in attesa su una guardia booleana, la quale può non essere più riaperta a causa della terminazione del thread incaricato. È il caso dell'attesa per l'accesso ad una Piattaforma da parte di un Treno: infatti nel momento in cui il thread rappresentante il Treno che occupa la Piattaforma termina la propria esecuzione, nessun'altra entità provvederà ad aprire la guardia booleana per permettere l'accesso ai thread in attesa. Nonostante lo stato risulti consistente (un Treno occupa una Piattaforma, altri Treni sono in attesa), il sistema non può considerarsi terminato. Risulta quindi opportuno prevedere un meccanismo capace di interrompere l'attesa su guardia, discriminando il caso in cui essa avvenga per terminazione. In tutti gli altri casi in cui si può avere attesa (accesso ad un Segmento), la semantica descritta nelle sezioni precedenti garantisce che i Treni completeranno le operazioni in modo tale da non rimanere bloccati su guardie booleane (evitando così situazioni di Stallo).

In secondo luogo, ci possono essere problemi legati alle richieste di natura asincrona come la creazione di Ticket, la quale coinvolge la Biglietteria Centrale e i nodi di simulazione: ad esempio, se supponiamo che i nodi di simulazione abbiano ricevuto un messaggio di terminazione e che alcuni di essi abbiano già terminato la propria esecuzione, la Biglietteria Centrale sarà impossibilitata a contattarli, generando un messaggio di errore sia in fase di creazione, sia in fase di consegna del Ticket creato. Questo può portare a situazioni non consistenti, come per esempio la situazione in cui un Viaggiatore in attesa (non attiva poiché il processo è asincrono, e quindi terminabile) di un Ticket non lo riceve per un errore della Biglietteria Centrale nella costruzione del Biglietto a causa dell'impossibilità di contattare nodi già terminati.

Per ovviare a problemi di questo tipo, è opportuno che il processo di terminazione coinvolga anche la Biglietteria Centrale. Una possibile soluzione al problema della terminazione è la seguente: definiamo **Marker** un messaggio speciale utilizzato per indicare l'inizio della procedura di terminazione.

- Il Controller Centrale inizia la procedura di terminazione e invia un messaggio **Marker** alla Biglietteria Centrale.
- Una volta ricevuto tale messaggio, la Biglietteria Centrale inizia a memorizzare in una coda FIFO tutti i messaggi di richiesta (asincrona) di Creazione di un Biglietto. Essa inoltre, completa le richieste di creazione di un Ticket in corso e memorizza i messaggi in uscita relativi a tali richieste su una coda di output. Infine, la Biglietteria Centrale invia un messaggio di conferma di terminazione delle operazioni asincrone correnti al Controller Centrale.
- Il Controller invia quindi un **Marker** a tutti i nodi di simulazione, i quali:
 - ultimano le operazioni in corso;
 - inviano un messaggio di **Unbind** al Name Server;
 - inviano un messaggio di risposta al Controller Centrale;
 - infine terminano.
- Il Controller una volta ottenuta risposta da tutti i nodi di simulazione, invia un nuovo **Marker** alla Biglietteria Centrale, la quale, memorizzato lo stato delle code di input e output, termina.
- Il Controller Centrale termina la propria esecuzione.

La soluzione presentata permette quindi la terminazione delle entità distribuite, in uno stato consistente. In questo modo memorizzando tale stato, è possibile realizzare una procedura di ripristino dell'esecuzione.

Capitolo 4

Tecnologie Adottate

La scelta delle tecnologie per l'implementazione del prototipo realizzato, è stata operata nell'ottica di individuare strumenti che permettessero una agevole attuazione della soluzione presentata. Di seguito verranno presentati i linguaggi di programmazione adottati e le tecnologie scelte.

4.1 Scala

Il linguaggio Scala è un linguaggio funzionale Object Oriented. Ho utilizzato questo linguaggio per la realizzazione di

- **Controller Centrale**
- **Biglietteria Centrale**
- **Application Server**, al quale i client HTTP possono collegarsi mediante protocollo *Web Socket* per poter fornire una rappresentazione grafica della simulazione, in linguaggio HTML e Javascript. Per la sua realizzazione è stato utilizzato il framework MVC **Play 2.0** (disponibile all'indirizzo <http://www.playframework.com/>).
- **Name Server** per la gestione delle Regioni di simulazione.

Internamente alle componenti distribuite, la concorrenza è stata gestita adottando il modello di concorrenza ad Attori fornito nativamente dal linguaggio.

4.2 Ada

Il linguaggio Ada è stato utilizzato per realizzare il core di simulazione presente in ciascuna Regione. Ho preferito infatti il modello di concorrenza

fornito dal linguaggio, il quale mi è sembrato più adatto per rappresentare le interazioni tra le entità introdotte al capitolo precedente, rispetto ai modelli offerti da altri linguaggi. In prima battuta, ho valutato l'utilizzo del modello di concorrenza ad Attori di Scala; tale modello avrebbe garantito una separazione naturale tra Attore e Thread che lo esegue, e quindi fornito un meccanismo di linguaggio scalabile per l'esecuzione delle entità Viaggiatore e Treno, da utilizzare in sostituzione a quello descritto nelle sezioni 3.2.2 e 3.2.3. Tuttavia, il modello ad Attori avrebbe reso necessaria l'adozione di *entità attive Server* a protezione delle entità reattive come Segmenti e Piattaforme, e ciò avrebbe comportato:

- la necessità di utilizzare thread per l'esecuzione degli attori a protezione delle entità;
- una maggiore complessità di terminazione;

L'utilizzo di Ada ha permesso un buon livello di controllo di allocazione di thread, risorse protette e oggetti, e il suo sistema di tipi molto restrittivo ha consentito di ridurre i possibili errori in fase di sviluppo.

4.3 Yami4

L'interazione tra componenti remote del sistema, realizzate con tecnologie eterogenee, è stata possibile utilizzando il middleware per lo scambio di messaggi *Yami4* (<http://www.inspire1.com/yami4/>), compatibile, tra gli altri linguaggi, con Ada e Java (e quindi di conseguenza anche con Scala). Questo strumento è stato preferito agli altri possibili middleware (*Distributed Systems Annex* per RPC in Ada e *CORBA*) in quanto si è rivelato molto semplice da utilizzare e versatile, e ha permesso di adottare un certo grado di disaccoppiamento tecnologico tra le componenti. Per ciascun Nodo di simulazione del Sistema è stato utilizzato un singolo Attore (definito da *Yami4*), sia per quanto riguarda l'invio che la ricezione di messaggi remoti, in ascolto ad un singolo indirizzo (adottando il protocollo TCP). Per ciascun Attore, è possibile infatti definire:

- **Object**: un oggetto remoto raggiungibile ad un dato indirizzo, identificato univocamente da una stringa.
- **Services**: insieme di servizi offerti da un oggetto remoto, identificati univocamente da una stringa.

Per quanto riguarda i nodi di simulazione, ho utilizzato quindi un unico **Object**, il quale mette a disposizione vari **Service** a seconda del tipo di servizio richiesto. Questa soluzione mi è sembrata la più semplice e estendibile possibile. Il protocollo usato tra le varie componenti del sistema per lo scambio di messaggi, è quello fornito da *Yami4*, e quindi lo scambio di dati in formato stringa chiave-valore; inoltre per l'invio di strutture dati complesse come Descrittori di Treni o Passeggeri, e Biglietti, ho utilizzato lo standard JSON. Per la codifica e decodifica di stringhe JSON mi sono servito di due librerie:

- La libreria **Gnatcoll** fornita con la distribuzione **Gnat**, per il linguaggio Ada.
- La libreria **json-smart** (disponibile all'indirizzo <https://code.google.com/p/json-smart/>), scritta in Java e integrata nelle componenti realizzate in linguaggio Scala. L'ho preferita alla libreria standard Scala `scala.util.parsing.json` poiché più semplice da utilizzare.

Ho utilizzato il formato JSON anche per la definizione dei file di configurazione, utilizzati all'avvio del sistema.

Capitolo 5

Specifica della soluzione Realizzata

Di seguito verrà fornita una descrizione dell'architettura del progetto realizzato, e in particolare verrà descritto come le soluzioni progettate sono state realizzate nella pratica.

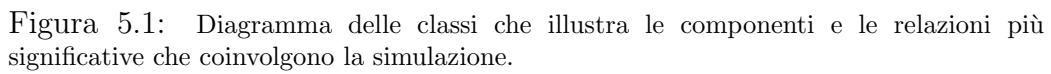
5.1 Simulazione

L'architettura di massima adottata per la realizzazione del core di simulazione, è visibile nel diagramma delle classi in figura 5.1 nel quale, per brevità, sono stati riportati solo le informazioni più significative. Viene ora fornita una breve descrizione delle varie componenti che sono state utilizzate, procedendo per Package. Nelle sezioni seguenti si utilizzeranno le nozioni di *Task* e *Tipo protetto* definite dal linguaggio *Ada*, utilizzato per l'implementazione, e verrà mostrato come le soluzioni presentate nel capitolo precedente sono state tradotte con strumenti di linguaggio.

5.1.1 Message_Agent

Il package `Message_Agent` fornisce un'interfaccia per l'invio di messaggi remoti. Esso contiene una classe singleton `Message_Agent_Type`, la quale possiede i seguenti campi dato:

- `Client_Agent` : `YAMI.Agents.Agent_Access`
Campo dati privato di tipo `YAMI.Agents.Agent_Access` che contiene una istanza di Agente fornito dalla libreria *Yami4*, e che viene utilizzato per l'invio e la ricezione di messaggi remoti.



- **Handlers_Map** : Map

Hash-map privata, la quale associa a chiavi di tipo **String**, valori di tipo *referimento a procedura*; essa viene utilizzata per associare a ciascun servizio offerto dall'oggetto **Client_Agent** un handler per la sua gestione.

Essa offre inoltre i seguenti metodi:

+ **Listen_To(Server_Address)**

Indica all'oggetto **Client_Agent** di rimanere in ascolto presso l'indirizzo **Server_Address**, attraverso il quale riceverà tutti i messaggi destinati al nodo. Nella fase di registrazione dell'oggetto remoto, viene definito un handler per la ricezione dei messaggi, il quale effettua il dispatching di ciascun messaggio ricevuto invocando la procedura corrispondente al servizio richiesto, definita nella mappa **Handlers_Map**.

+ **Close()**

Chiude la connessione dell'oggetto **Client_Agent**.

+ **Send_Message(**

Destination_Address:String,
Object:String,
Service:String,
Params:YAMI.Parameters.Parameters_Collection,
Callback)

Invia un messaggio all'oggetto remoto indicato da **Object** all'indirizzo **Destination_Address**, richiedendo il servizio **Service**, e con i parametri indicati da **Params**. Se non nulla, la funzione di callback **Callback** viene invocata alla ricezione del messaggio di risposta, altrimenti quest'ultimo viene ignorato.

+ **Send_One_Way(**

Destination_Address : String,
Object : String,
Service : String,
Params : YAMI.Parameters.Parameters_Collection)

Metodo simile a **Send_Message**, solo che non rimane in attesa della risposta al messaggio inviato.

Nessun meccanismo di serializzazione delle richieste è stato adottato, in quanto esso è già operato dagli oggetti della libreria *Yami4*.

5.1.2 Central_Controller_Interface

Il package `Central_Controller_Interface` fornisce un'interfaccia per permettere alle entità della simulazione di inviare un evento di notifica alla componente remota di Controllo Centrale. A tal proposito sono messi a disposizione le procedure `Set_Train_Status` e `Set_Traveler_Status`, le quali effettuano il marshalling dei dati in ingresso (in formato JSON) e inviano un messaggio remoto mediante il metodo `Send_One_Way` offerto dall'unica istanza di `Message_Agent_Type`.

5.1.3 Central_Office_Interface

Il package `Central_Office_Interface` fornisce un'interfaccia per permettere la comunicazione con la Biglietteria Centrale:

```
+ Create_Ticket(  
    From : String,  
    To : String,  
    Traveler_Index: Integer)  
    Richiede la creazione di un Biglietto inviando un messaggio remoto me-  
    diante il metodo Send_Message offerto dall'unica istanza di Message_Agent_Type.  
    Non viene specificata una procedura di callback, in quanto il risultato  
    verrà inviato dalla Biglietteria Centrale una volta calcolato il Biglietto.  
  
+ Validate(  
    The_Ticket:Ticket,  
    Callback:access procedure(The_Ticket:Ticket,Response:Boolean))
```

5.1.4 Name_Server_Interface

Package che fornisce un'interfaccia remota per la comunicazione con il Server dei Nomi che mantiene la lista delle Regioni di simulazione. Esso fornisce le seguenti procedure:

```
+ Bind(  
    Name_Server : String,  
    Node_Name : String,  
    Address : String)  
    Permette di registrare presso il Server dei Nomi che l'entità remota  
    Node_Name è disponibile alla locazione indicata da Address.
```

```
+ Resolve(  
    Name_Server : String,  
    Node_Name : String),  
    Callback : access procedure(Result:String)  
    Permette di richiedere al Server dei Nomi la risoluzione della locazio-  
    ne alla quale si trova l'entità Node_Name. Una volta che la risposta è  
    disponibile, viene invocata la procedura di callback Callback.
```

Per entrambe le procedure, viene inviato un messaggio remoto tramite il metodo `SendMessage` di `Message_Agent_Type`, al quale viene passato una procedura di callback che estrae il campo `address` dal messaggio di ritorno e lo passa all'invocazione di `Callback`. Presso il package viene mantenuta una hash-map, la quale permette di memorizzare le destinazioni risolte, in modo da limitare l'invio di messaggi remoti.

5.1.5 Queue

Il package `Queue` contiene la definizione di alcuni tipi di code utilizzati nell'intera simulazione:

`Terminable.Queue`

Tipo *protetto* costruito come *wrapper* della coda standard offerta dal package `Ada.Containers.Unbounded_Synchronized_Queue`s, e che permette di interrompere l'attesa sulla guardia Booleana definita per l'entry `Dequeue`, la quale rimane chiusa nel caso in cui non vi siano più elementi al suo interno. Esso e definisce l'entry

```
Dequeue(Element:out Element_Type, Terminated:out Boolean)
```

con guardia Booleana: `Termination or Q.Current.Use > 0`, dove `Q` è una coda fornita dalle librerie standard di linguaggio, `Current.Use` è una funzione che restituisce il numero di elementi all'interno della coda, e `Termination` è un campo dati Booleano della risorsa protetta. In questo modo nel caso in cui il valore di `Termination` sia `True` l'attesa su coda viene interrotta, e viene restituito al chiamante il valore `True` attraverso il parametro passato per riferimento `Terminated`, altrimenti la coda restituisce anche il valore del primo elemento rimosso dalla coda.

Per poter attribuire al campo dati `Termination` il valore `True`, viene fornita la procedura protetta `Stop`.

Limited_Simple_Queue

Tipo di coda non thread-safe, di dimensione limitata, realizzato mediante un array di elementi, e che fornisce un'interfaccia composta dai metodi:

- **Enqueue**(**Element**:**Element_Type**) per accodare un nuovo elemento;
- **Dequeue**(**Element**:**out Element_Type**) per rimuovere l'elemento dalla testa della coda;
- **Get**(**Index**:**Integer**) per ottenere il valore dell'elemento nella posizione **Index**;

Unlimited_Simple_Queue

Tipo di coda non thread-safe di dimensione illimitata, realizzato mediante un oggetto di tipo **Vector** definito dalle librerie standard **Ada.Containers.Vectors**. Esso presenta un'interfaccia del tutto simile a quella offerta dal tipo **Limited_Simple_Queue**, alla quale aggiunge il metodo **Is_Empty** : **Boolean** che indica se la coda è vuota.

5.1.6 Generic_Operation_Interface

Package che contiene la definizione di una interfaccia **Operation_Interface**, la quale espone un unico metodo **Do_Operation()**. Essa rappresenta una generica operazione. Viene definito inoltre un tipo puntatore ad operazione generica **Any_Operation**.

5.1.7 Traveler_Pool

Il package **Traveler_Pool** realizza il meccanismo per l'esecuzione delle entità **Viaggiatore** descritto in sezione 3.2.2. Esso mantiene

- una coda **Operations_Queue** di puntatori di tipo **Any_Operation** a operazioni. Tale coda è di tipo **Terminable_Queue**, definito nel package **Queue**.
- la definizione di un tipo record **Traveler_Pool_Type** contenente un array di oggetti task **Executor**, di dimensione fissata in fase di creazione. Ciascun task di tipo **Executor** eseguirà semplici operazioni ciclicamente:
 - Estrae il primo elemento dalla coda **Operations_Queue** mediante il metodo **Dequeue** da essa offerto.

- Nel caso in cui il valore del parametro **Terminated** passato per riferimento abbia il valore **True**, allora viene interrotto il ciclo di operazioni.
- Altrimenti, viene invocato il metodo **Do_Operation** sul puntatore ad operazione estratto.

5.1.8 Ticket

Package che contiene la definizione di un Biglietto. Esso definisce infatti il tipo record **Ticket_Type**, il quale è composto da un campo intero **Next_Stage** che indica la tappa corrente del percorso descritto dal Biglietto, e un puntatore ad un array di Tappe, ovvero di oggetti di tipo **Ticket_Stage**. Quest'ultimi mantengono le seguenti informazioni:

- **Start_Station** : Indice della Stazione di partenza;
- **Next_Station** : Indice della prossima Stazione;
- **Train_ID** : Identificativo del Treno da utilizzare per raggiungere la stazione **Next_Station**;
- **Start_Platform_Index** : Indice della Piattaforma di partenza;
- **Destination_Platform_Index** : Indice della Piattaforma di destinazione;
- **Region** : Nome della regione nella quale si colloca la stazione **Next_Station**;

Il package fornisce inoltre le funzioni necessarie per effettuare marshalling e unmarshalling degli oggetti di tipo **Ticket_Type** in/dal formato JSON.

5.1.9 Traveler

Package che contiene la definizione del tipo rappresentante un Viaggiatore. In esso infatti viene definito il tipo record **Traveler_Manager**, formato dai campi:

- **Next_Operation** : Indice della prossima operazione da eseguire;
- **Destination** : Nome della stazione di destinazione;
- **Start_Station** : Nome della stazione di partenza;
- **Start_Region** : Regione di partenza;

- **Traveler** : Campo di tipo record che contiene alcuni dati relativi al Viaggiatore, come nome e cognome.
- **Ticket** : Riferimento ad un oggetto di tipo **Ticket_Type**.

Il package **Traveler** contiene inoltre le funzioni necessarie per effettuare marshalling e unmarshalling secondo il formato *JSON*.

5.1.10 Regional_Ticket_Office

Il package **Regional_Ticket_Office** mantiene una tabella **Paths**, la quale per ciascuna Stazione della Regione corrente, definisce i percorsi più brevi per raggiungere ciascuna altra destinazione nella Regione. Esso inoltre espone la seguente interfaccia:

- + **Create_Ticket(From:String,To:String) : Ticket_Type**
Crea un istanza di oggetto **Ticket_Type** che rappresenta un biglietto per raggiungere la destinazione **To** a partire da **From** nella regione corrente. Essa realizza l'algoritmo di creazione di un Biglietto descritto in sezione 3.3.3.2.
- + **Get_Ticket (Traveler_Index:Integer,From:String,To:String)**
La procedura si occupa dell'effettiva creazione del Biglietto (oggetto di tipo **Ticket_Type**). Tale procedura effettua un controllo: se le Stazioni **From** e **To** sono contenute all'interno della Regione corrente, allora procede alla creazione del Biglietto vero e proprio attraverso la funzione **Create_Ticket**, che viene quindi assegnato al Viaggiatore di indice **Traveler_Index**; successivamente viene inserita l'operazione **TICKET_READY** nella coda di operazioni di **Traveler_Pool**. Se invece la Stazione di destinazione **To** non è contenuta nella Regione corrente, allora viene richiesta la creazione del Biglietto alla Biglietteria Centrale attraverso l'interfaccia **Central_Office_Interface**.

Il package **Regional_Ticket_Office** contiene inoltre la procedura **Init_Path_Map** utilizzata per caricare la mappa contenente i percorsi più brevi, usata dall'algoritmo di creazione del Biglietto.

5.1.11 Segment

Il package **Segment** contiene la definizione del tipo **Segment_Type**, *risorsa protetta* che rappresenta una il segmento di congiunzione tra due Stazioni introdotto in sezione 3.2.1. Esso contiene i seguenti campi dato:

- **Id**: Identificativo univoco del Segmento;
- **Segment_Max_Speed**: Velocità massima di percorrenza del Segmento;
- **Current_Max_Speed**: Velocità massima alla quale i Treni percorrono il Segmento;
- **Free**: Indica lo stato di occupazione del Segmento, se **True** il Segmento è da considerarsi occupato, altrimenti libero.
- **Segment_Length**: Lunghezza del Segmento;
- **Current_Direction**: Direzione di percorrenza corrente;
- **Queue_Dim** Dimensione massima della coda usata per memorizzare gli identificativi univoci dei Treni in transito;
- **Running_Trains_Queue**: Coda di tipo **Limited_Simple_Queue** di **Queue_Dim** elementi, che contiene gli identificativi dei Treni in transito;
- **Trains_Number**: Mantiene il numero di Treni attualmente in transito;
- **First_End, Second_End**: Stazioni che sono collegate dal Segmento;
- **First_End_In_Queue**: Numero di Task in attesa per accedere il Segmento dal primo estremo.
- **Second_End_In_Queue**: Numero di Task in attesa per accedere il Segmento dal secondo estremo.
- **Can_Retry_Leave, Can_Retry_Enter**: Vengono usati come guardie booleane per regolare rispettivamente i tentativi successivi di uscita e accesso al Segmento.
- **Enter_Retry_Num**: Numero di Task in attesa su guardia booleana, rappresentata da **Can_Retry_Enter**
- **Exit_Retry_Num**: Numero di Task in attesa su guardia booleana rappresentata da **Can_Retry_Leave**
- **Train_Entered_Per_Direction**: Numero di Treni transitati per la direzione corrente.

Il tipo protetto **Segment_Type** fornisce un'interfaccia pubblica accessibile ai Task **Train_Executor_Task** per regolare *ingresso* e *uscita* nel/dal Segmento rappresentato, come descritto nella sezione . Di seguito viene riportata una descrizione dettagliata delle *entries* utilizzate.

5.1.11.1 Ingresso nel Segmento

L'ingresso è realizzato mediante l'utilizzo di una entry pubblica `Enter`, e due entries private `Retry_First_End` e `Retry_Second_End`. L'entry `Enter`, permette l'ingresso controllato nel Segmento, e consiste quindi in una barriera.

```
entry Enter(  
    To_Add      : in      Positive;  
    Max_Speed   :      out Positive;  
    Leg_Length  :      out Positive) when True is  
begin  
    ...  
end Enter;
```

Come prima operazione, esso effettua un controllo sulla direzione con la quale il Treno tenta l'accesso e, se diversa dalle due estremità `First_End` e `Second_End`, solleva una eccezione.

```
if (Trains.Trains(To_Add).Current_Station /= First_End) and  
   (Trains.Trains(To_Add).Current_Station /= Second_End) then  
    raise Bad_Segment_Access_Request_Exception with "...";  
end if;
```

Una volta che il controllo è stato superato, viene controllato se il Treno accede dall'estremo `First_End` o `Second_End`, per poi poter proseguire all'accesso di conseguenza. Viene riportato solo il codice per uno dei due casi, ovvero il caso in cui `Trains.Trains(To_Add).Current_Station = First_End`, in quanto sono analoghi.

Nel caso in cui il Segmento sia libero (`Free=True`) allora il Treno può accedere al Segmento.

```
if Free then  
    -- Il numero di Treni per direzione viene  
    -- impostato a 1  
    Train_Entered_Per_Direction := 1;  
    -- Viene impostato ad occupato  
    Free := False;  
    -- Viene aggiornata la direzione di marcia corrente,  
    -- con la Stazione di provenienza del Treno.  
    Current_Direction :=  
        Trains.Trains(To_Add).Current_Station;  
    -- Viene chiusa la guardia booleana dell'entry  
    -- Retry_Second_End.  
    Can_Enter_Second_End := False;  
    ...
```

Nel caso in cui invece il Segmento non sia libero, allora viene verificata la possibilità di accesso multiplo, ovvero se e solo se la direzione di percorrenza del Treno è la stessa di quella corrente, se il numero massimo di accessi per direzione (**Max**) non è stato raggiunto, oppure se nessun Task è accodato all'estremo opposto, ovvero sulla entry **Retry_Second_End**. In tutti gli altri casi il Task corrente viene riaccodato sull'entry **Retry_First_End** che avrà guardia booleana chiusa. Si noti che per il riaccodamento ho utilizzato lo strumento **requeue** offerto dal linguaggio Ada.

```
...
else
  if Trains.Trains(To_Add).Current_Station =
    Current_Direction
  then
    if Train_Entered_Per_Direction = Max then
      -- Se il numero di accessi e' il massimo
      -- consentito per direzione...
      if Retry_Second_End.Count > 0 then
        -- se vi sono task in attesa dall'estremo
        -- opposto del Segmento, allora il
        -- task corrente viene accodato presso la
        -- entry Retry_First_End, in attesa che arrivi
        -- il proprio turno.
        Can_Enter_First_End := False;
        requeue Retry_First_End;
      end if;
    else
      -- se il massimo numero di accessi per
      -- direzione NON e' stato raggiunto, allora
      -- viene incrementato il numero di accessi
      Train_Entered_Per_Direction :=
        Train_Entered_Per_Direction + 1;
    end if;
  else
    -- nel caso in cui il Treno corrente volesse
    -- accedere nel senso opposto al senso di
    -- marcia, dovra' attendere.
    Can_Enter_First_End := False;
    requeue Retry_First_End;
  end if;
end if;
```

Se il Task corrente non è stato riaccodato ad un'altra entry, allora viene incrementato di uno il contatore dei Treni in transito, e viene inserito nella coda **Running_Trains** l'identificativo del Treno corrente. Vengono infine aggiornati i dati relativi alla velocità di percorrenza (il codice viene omesso per brevità).

Le entries private **Retry_First_End** e **Retry_Second_End** sono molto simili e sono utilizzate per mantenere accodati i Task relativi ai Treni in attesa di accedere al Segmento, rispettivamente presso l'estremo **First_End** e **Second_End**. Viene riportato di seguito il codice che realizza l'entry **Retry_First_End**.

```
entry Retry_First_End(  
    To_Add      :in    Positive;  
    Max_Speed   :  out Positive;  
    Leg_Length  :  out Positive) when Can_Enter_First_End  
is  
begin  
    -- Decremento del numero di Task che  
    -- possono ri-tentare l'accesso  
    Enter_Retry_Num := Enter_Retry_Num - 1;  
    -- una volta che tale numero e' 0,  
    -- la guardia viene richiusa.  
    if Enter_Retry_Num = 0 then  
        Can_Enter_First_End := False;  
    end if;  
    -- il nuovo tentativo viene effettuato ri-accodando  
    -- il task corrente presso l'entry Enter.  
    requeue Enter;  
end Retry_First_End;
```

L'attesa dei task presso questa entry è regolata dalla guardia booleana **Can_Enter_First_End**, mentre il numero di tentativi di nuovo accesso al Segmento, viene regolato dal parametro **Enter_Retry_Num**.

5.1.11.2 Uscita dal Segmento

L'uscita da un Segmento da parte di un Treno, ha il prerequisito fondamentale per cui esso ha prima avuto accesso a tale Segmento, e quindi il suo identificativo univoco sarà contenuto nella coda **Running_Trains**. Il processo di uscita garantisce che l'ordine di ingresso sia rispettato, senza possibili assunzioni sull'ordine di esecuzione dei Task coinvolti dato dalle politiche di

scheduling sottostanti. Esso viene realizzato dalla entry pubblica `Leave` e dalla entry privata `Retry_Leave`.

La entry `Leave` per prima cosa controlla che il Task correntemente in esecuzione, sia effettivamente il prossimo a dover uscire dal Segmento. Tale controllo viene effettuato confrontando il primo elemento della coda `Running_Trains` con l'identificativo del Treno rappresentato dal Task in esecuzione: se essi sono uguali allora l'identificativo viene rimosso dalla coda e viene effettuata l'uscita, altrimenti il Task corrente viene accodato presso l'entry `Retry_Leave`.

```
entry Leave(  
    Train_D : in Positive) when not Free is  
begin  
    if Running_Trains.Get(1) = Trains.Trains(Train_D).ID  
    then  
        -- il primo elemento della coda viene rimosso  
        declare  
            T : Positive;  
        begin  
            Running_Trains.Dequeue(T);  
        end;  
        ...  
    else  
        -- Requeue alla entry Retry_Leave per  
        -- rispettare l'ordine di accesso.  
        requeue Retry_Leave;  
    end if;  
end Leave;
```

L'uscita viene completata nel seguente modo: per prima cosa viene verificata l'eventuale presenza di Task in attesa sulla guardia (chiusa) della entry `Retry_Leave`;

```
...  
-- se c'e' almeno un Task in attesa presso la  
-- guardia di uscita, essa puo' essere aperta  
-- per permettere al prossimo Task di uscire.  
if(Retry_Leave.Count > 0) then  
    -- viene memorizzato il numero di task  
    -- che possono tentare l'uscita.  
    Retry_Num := Retry_Leave.Count;  
    Can_Retry_Leave := True;  
end if;
```


...

successivamente, viene verificato se il Segmento si è svuotato completamente o meno. Nel primo caso, viene verificata l'eventuale presenza di Treni (Task) in attesa presso l'estremità opposta del Segmento, e in tal caso la loro guardia viene aperta per permettere di ritentare l'accesso. Nel caso il Segmento sia vuoto ma non vi sia nessun Task in attesa, viene re-impostato il valore di `Free` a `True`.

...

```
-- viene ridotto di 1 il numero di Treni in transito
Trains_Number := Trains_Number - 1;
if Trains_Number = 0 then
  -- se il Segmento risulta libero...
  if Current_Direction = First_End then
    -- caso in cui la direzione corrente sia
    -- proveniente dal primo estremo del segmento.
    if Retry_Second_End'Count > 0 then
      -- se ci sono task in attesa presso la
      -- entry Retry_Second_End, allora essi
      -- potranno riprovare l'accesso.
      Enter_Retry_Num := Retry_Second_End'Count;
      -- viene aperta la guardia booleana
      Can_Enter_Second_End := True;
      Can_Enter_First_End := False;
    else
      -- se non vi sono treni in attesa, allora
      -- il Segmento viene dichiarato libero.
      Free := True;
    end if;
  else
    -- Caso analogo relativo alla direzione opposta
    ...
  end if;
end if;
...
```

Infine, deve essere comunicato l'ordine di uscita alla successiva Stazione. Questa operazione si traduce nell'invocazione della procedura `Add_Train` messa a disposizione dall'interfaccia `Station_Interface` del package `Generic_Station`.

La entry `Retry_Leave` è la seguente:

```
entry Retry_Leave(
  Train_D : in Positive) when Can_Retry_Leave is
```

```
begin
  -- Decremento del numero di task che
  -- possono ritentare l'uscita.
  Retry_Num := Retry_Num - 1;
  -- una volta che tale numero e' 0,
  -- la guardia viene richiusa per permettere
  -- nuovo accodamento
  if(Retry_Num = 0) then
    Can_Retry_Leave := False;
  end if;
  -- infine viene riaccodato il task corrente
  -- presso Leave, per ritentare l'uscita.
  requeue Leave;
end Retry_Leave;
```

La soluzione presentata sfrutta gli strumenti offerti dal linguaggio Ada per garantire una semantica adeguata di accesso, percorrenza e uscita.