POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

Simulazione di terminali intermodali con funzione gateway:

la Piattaforma di Torino Orbassano inclusiva dei traffici della Linea Torino Lione e del Porto di Vado Ligure

Relatori:

prof. Bruno Dalla Chiara

ing. Nicola Coviello

Candidato:

Davide Andreoli

Marzo 2020

Ringraziamenti

Al termine di questa esperienza di tesi e di studio al Politecnico sono molte le persone e le realtà che ci terrei a ringraziare.

Un primo ringraziamento al Professor Bruno Dalla Chiara: ha sempre trovato il tempo da dedicare a noi tesisti ed è stato fondamentale per curare i rapporti con i diversi attori presenti a Torino Orbassano.

Vorrei ringraziare l'Ingegner Nicola Coviello che con molta pazienza e disponibilità è sempre riuscito a rispondere ai miei dubbi e a consigliarmi durante la costruzione del modello.

Ringrazio RFI per avere permesso a noi tesisti di visitare lo scalo di Torino Orbassano, aver discusso le nostre proposte e averci fornito chiarimenti sul funzionamento attuale della Piattaforma logistica ai fini della tesi.

Un ringraziamento anche a tutte le altre realtà presenti all'interno della piattaforma logistica con cui siamo entrati in contatto durante il nostro lavoro di tesi: S.I.TO., A.F.A., C.A.A.T.

Un grazie speciale ad Alessandro, che in questi mesi è stato un compagno di tesi prezioso e mi ha più volte ospitato a Torino in occasione delle visite alla piattaforma. È stato piacevole poter condividere questa esperienza con qualcuno, confrontarsi e lavorare assieme.

Ci terrei a ringraziare anche gli amici e i compagni di corso conosciuti in questi due anni di studio a Torino con cui ho passato momenti di studio e di svago che ricorderò sempre con piacere.

Ringrazio tutta la mia grande famiglia per il sostegno e l'affetto ricevuto e in particolare Paola, che mi è sempre stata vicina.

Un ultimo ringraziamento a mio nonno Renato, che è sempre stato un esempio per noi con il suo impegno e la sua generosità. È stato importante poter essere stato vicino a lui in questi suoi ultimi mesi e vorrei dedicare a lui questo lavoro.

Sommario

Obiettivi 1
Introduzione 1
1. Stato dell'arte 2
1.1 Servizi e terminal nell'offerta ferroviaria 2
1.1.1 Trasporto merci ferroviario 2
1.1.2 Terminal oggi in Italia 2
1.2 Letteratura tecnico scientifica 3
2. Reti e flussi di traffico internazionale 5
2.3 Trasporto ferroviario europeo: reti TEN-T 5
2.4 I corridoi italiani 6
3. Obiettivi europei su de-carbonizzazione e contenimento delle emissioni 8
3.1 Piano europeo per il contenimento delle emissioni 8
3.2 Obiettivi europei per il settore trasporti 8
3.3 La Convenzione delle Alpi 8
4. Il trasporto intermodale 9
4.1 Tipologie di trasporto e unità di trasporto intermodali 9
4.2 Terminal intermodali 10
4.3 Interporti e piattaforme logistiche 11
4.4 Movimentazione delle uti e relative attrezzature 11
4.5 I costi del trasporto combinato 13
4.6 Vantaggi del trasporto combinato 13
4.7 Ottica futura: ETR merci 14
5. Offerta attuale: rete esistente 15
5.1 La direttrice Torino - Modane 15
5.2 Attuale piattaforma logistica di Torino Orbassano 15
5.2.1 Scalo ferroviario di Torino Orbassano 16
5.2.2 Interporto S.I.TO 18
5.2.3 Centro agro alimentare di Torino (CAAT) 19
5.2.4 Termovalorizzatore (TRM) 19
6. Domanda di trasporto 20
6.1 Traffici odierni sui principali valichi alpini 20
6.2 Dinamiche di sviluppo ed interscambio di beni attraverso l'arco alpino occidentale 21
6.3 Scenari di evoluzione e di crescita previsti dall'Osservatorio Torino Lione 25
6.4 piattaforma di Torino Orbassano 28
6.5 Necessità di un nuovo sistema di infrastrutture 34

7. Criteri di progettazione di un terminal intermodale 35
7.1 Condizioni territoriali e requisiti costitutivi 35
7.2 Valutazione impatto ambientale in fase progettuale 35
7.3 Requisiti progettuali 36
7.4 Potenzialità 37
7.5 Capacità di deposito 38
8. Progetto piattaforma logistica di Torino Orbassano 39
8.1 Identificazione criticità 39
8.2 Fase 1 (2022) 40
8.2.1 Scenario RFI in fase di realizzazione 40
8.2.2 Scenario di progetto 42
8.3 Fase 2 (2030) 53
8.3.1 Scenario RFI ipotizzato 53
8.3.2 Scenario di progetto 55
9. Progetto di simulazione 60
9.1 Fasi del progetto di simulazione 60
9.1.1 Definizione del problema 60
9.1.2 Analisi degli input 60
9.1.3 Costruzione del modello 60
9.1.4 Verifica e validazione 61
9.1.5 Definizione scenari e analisi degli output 61
9.1.6 Analisi dei risultati 61
9.3 Arena Simulation 61
10. Simulazione piattaforma logistica di Torino Orbassano 65
10.1 Definizione del problema 65
10.1.1 Sotto-sistema ferroviario 67
10.1.2 Sotto-sistema stradale 68
10.1.3 Sotto-sistema movimentazione UTI 68
10.2 Analisi degli input 68
10.2.1 Layout dello scalo 68
10.2.2 Matrice degli itinerari 70
10.2.3 Traffico ferroviario 71
10.2.4 Distribuzioni ritardi 73
10.2.5 Tempi operativi gru a portale 74
10.2.6 Operazioni nei terminal e mezzi di movimentazione 74
10.2.7 Velocità veicoli 74

10.3 Costruzione del modello 74
10.3.1 Avvio della simulazione e lettura file di input 74
10.3.2 Blocco creazione entità 75
10.3.3 Circolazione ferroviaria 76
10.3.4 Blocchi nodo ferroviario 77
10.3.5 Blocchi arco ferroviario 77
10.3.6 Blocchi raccordi terminal 78
10.3.7 Blocchi circolazione stradale 79
10.3.8 Blocchi operazioni terminal 80
10.3.10 Termine della simulazione e scrittura file output 81
10.3.11 Commento del codice VBA 82
10.4 Verifica e validazione 83
10.5 Definizione scenari e analisi degli output 84
10.5.1 Scenari simulati 84
10.5.2 Orizzonte temporale 85
10.5.3 Numero di repliche 85
10.5.4 Analisi del transitorio 86
10.6 Analisi dei risultati 86
10.6.1 Scenario 2020 (Fase 0) 86
10.6.2 Scenario 2022 (Fase 1) 87
10.6.3 Scenario 2030 (Fase 2) 88
10.6.4 Analisi dei rischi 89
11. Conclusioni 90
Bibliografia 92

Obiettivi

L'obiettivo principale di questa tesi è la creazione di un modello simulativo in grado di rappresentare il sistema Piattaforma logistica di Torino Orbassano. Il modello riproduce sia l'operatività dei terminal che la circolazione ferroviaria e stradale all'interno della piattaforma. La simulazione in primo luogo è centrata sulla situazione attuale: lo scenario 2020 cerca di rispecchiare in modo più accurato possibile il reale svolgersi delle operazioni. Gli scenari 2022 e 2030 invece vogliono verificare l'effetto dei nuovi flussi di traffico sulle infrastrutture presenti. I risultati della simulazione forniscono indicazioni sull'efficacia delle soluzioni progettate rispetto all'aumento di domanda previsto in seguito alla realizzazione della Nuova Linea Torino Lione e alla piena attività del porto di Vado Ligure.

Introduzione

Negli ultimi anni il tema della linea ferroviaria Torino-Lione è stato al centro di numerosi dibattiti e discussioni e risulta sempre di grande attualità. La nuova linea presenterà pendenze e tempi di percorrenza minori rispetto a quella attuale e di conseguenza la ferrovia potrà aumentare la sua competitività rispetto al trasporto stradale che al momento risulta dominante. La piattaforma logistica di Torino Orbassano si trova sul versante italiano della linea e il suo futuro è strettamente legato alla realizzazione di questa grande opera. La piattaforma è collocata a cavallo della tangenziale sud di Torino e si propone come mezzo per promuovere il trasporto combinato strada-rotaia.

Lo sviluppo della piattaforma logistica e l'impatto che la linea ferroviaria Torino Lione avrà su di essa rappresentano il tema comune su cui sono stati sviluppati due lavori di tesi. Assieme ad Alessandro Carmine De Paola, studente Laureando del Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile, sono state effettuate le visite e le interviste con i diversi operatori presenti a Torino Orbassano. Il fulcro della tesi di De Paola è la formulazione di proposte di interventi infrastrutturali previsti per il 2030 e la progettazione dell'intero scalo ferroviario: la piattaforma sarà attraversata dalla linea ad alta velocità e pertanto il suo layout subirà sostanziali modifiche. I due lavori sono strettamente correlati tra loro, infatti il nuovo layout della piattaforma rappresenta un importante dato di input per il modello di simulazione. A sua volta il modello di simulazione fornisce dati utili sull'impatto dei flussi di traffico che potranno essere richiamati nelle tesi del collega.

All'interno dei primi quattro capitoli viene effettuata una panoramica sul trasporto intermodale. Partendo dall'analisi di realtà esistenti e casi presenti nella letteratura tecnico-scientifica si procederà con una fotografia dei flussi di traffico internazionali, europei ed italiani. Segue una descrizione dell'infrastruttura e delle potenzialità della nuova Linea Torino Lione; il potenziamento e la diffusione del trasporto ferroviario risultano in linea con le misure di de-carbonizzazione e contenimento delle emissioni promosse dall'Unione Europea. Per completare il discorso introduttivo verrà affrontato nel dettaglio il discorso dell'intermodalità, le diverse infrastrutture puntuali, le attrezzature e le particolarità del trasporto combinato. I capitoli 5 e 6 approfondiscono l'offerta e la domanda di trasporto. Dal lato offerta vengono illustrate la rete ferroviaria esistente e tutte le particolarità della piattaforma logistica di Torino Orbassano. Per quantificare la domanda di trasporto vengono descritti i traffici attuali attraverso l'Arco Alpino Occidentale; partendo da questi dati verranno esposti gli scenari di evoluzione e crescita previsti per il 2030. I capitoli 7 e 8 descrivono il lavoro del collega De Paola; dopo una prima parte che racchiude un elenco delle buone pratiche nel processo di progettazione ci si addentra all'interno del progetto vero e proprio per gli scenari 2022 e 2030.

Il capitolo 9 elenca invece le fasi da svolgere all'interno di un progetto di simulazione e contiene una descrizione di Arena, il software per la simulazione ad eventi discreti utilizzato per modellare il sistema. Il capitolo 10 descrive nel dettaglio il processo di modellizzazione, le problematiche affrontate e la formulazione degli scenari.

L'ultimo capitolo riporta l'analisi dei risultati e le conclusioni comuni dei due lavori di tesi.

1. Stato dell'arte

1.1 Servizi e terminal nell'offerta ferroviaria

1.1.1 Trasporto merci ferroviario

La ferrovia nasce e conosce un grande periodo di espansione nel corso dell'Ottocento: questa crescita continua fino agli anni '70, periodo in cui inizia ad affermarsi con forza il trasporto stradale.

Le principali cause che hanno contribuito a ridurre le quote di traffico merci ferroviario sono legate alla poca flessibilità del treno e alla minor presenza di innovazioni rispetto al trasporto stradale [1]:

- Riduzione del traffico pesante (materiale da costruzione, siderurgico);
- Bassa velocità e tempi di consegna elevati;
- Invecchiamento del materiale rotabile;
- Impossibilità di trasporto di merce a temperatura controllata;
- Impossibilità di diagnostica della posizione e prestazioni del singolo carro.

Negli ultimi anni si è cercato di spingere nuovamente sul trasporto ferroviario, in quanto esso presenta delle caratteristiche che lo rendono una scelta più sostenibile e, con i dovuti interventi tecnologici, un'alternativa competitiva:

- Convenienza per il trasporto su lunghe distanze e di grandi carichi;
- Riduzione di emissioni e indipendenza dal petrolio;
- Basso numero di incidenti rispetto al trasporto stradale;
- Riduzione di occupazione del suolo rispetto ad autostrade.

Per fare in modo che la ferrovia rappresenti nuovamente una valida alternativa al trasporto stradale è anche necessario che siano presenti le infrastrutture puntuali per le operazioni di carico dei carri ferroviari. Il futuro in Europa è quello di nuovi treni elettrificati e con potenza distribuita lunghi fino a 35 carri: questi treni di nuova generazione saranno in grado di trasportare anche merce a temperatura controllata. L'elettrificazione e la potenza distribuita permetteranno di vincere pendenze consistenti che al giorno d'oggi comportano la presenza di più locomotori (facendo di conseguenza aumentare i costi); inoltre questi nuovi treni saranno diagnosticabili e quindi in grado di transitare sulle linee ad alta velocità.

1.1.2 Terminal oggi in Italia

I terminal sono le strutture dove avviene il cambio di modalità e vengono effettuate le operazioni di carico dei treni. Queste aree fanno spesso parte di interporti, che sono dei complessi integrati di strutture e servizi di supporto agli operatori del trasporto che hanno lo scopo di favore lo scambio delle merci [2].

Gli interporti possono essere divisi in due livelli, a seconda dalle dimensioni e dalla rilevanza nazionale e internazionale:

- **1° Livello**: Orbassano, Rivalta Scrivia, Milano Lacchiarella, Verona, Padova, Bologna, Nola-Marcianise, Parma Fontevivo, Livorno Guasticce;
- **2° Livello**: Novara Boschetto, Cervignano, Ravenna, prato Gonfienti, Jesi, Orte Civitavecchia, Frosinone, Termoli, Tito, Bari Lamasinata, Termini Imerese, Catania Bicocca, Cagliari.

Terminali Italia è la società facente parte del Gruppo Ferrovie dello Stato che si occupa della gestione di tutti i terminal di proprietà di RFI, come quello presente a Torino Orbassano, all'interporto di Bologna o a Verona Quadrante Europa.

Altri terminal di particolare interesse in ambito nazionale sono di proprietà di privati come Hupac e Ambrogio.

1.2 Letteratura tecnico scientifica

Gli articoli relativi alla simulazione di terminal intermodali sono numerosi in letteratura, ma sono riferiti principalmente alla rappresentazione di un singolo terminal o al massimo a più moduli dello stessa tipologia.

In ognuna delle simulazioni è necessario rappresentare tre diversi sistemi:

- Sotto-sistema ferroviario;
- Sotto-sistema stradale;
- Sotto-sistema movimentazione delle UTI.

Il modello deve riuscire a catturare gli aspetti che regolano l'interazione tra questi sotto sistemi e le distribuzioni che caratterizzano ognuno di essi.

Di seguito sono riportati alcuni studi di simulazione consultabili all'interno di piattaforme come Pico del Politecnico di Torino o Google Scholar.

L'articolo "Terminali intermodali con funzione gateway: simulazione progettuale su un caso di studio" descrive la progettazione di un terminal gateway all'interno dell'area di Alessandria Smistamento e la relativa simulazione per mezzo del software di simulazione AutoMod. Lo studio è stato redatto da Dalla Chiara B., Manti E. e Michele M. ed è stato pubblicato nel 2013 all'interno della rivista "Ingegneria Ferroviaria".

Il terminal container presente all'interno del porto di La Spezia è il caso di studio oggetto dell'articolo "Simulation and Planning of an Intermodal Container Terminal" (1998). Gli autori Rizzoli A. E., Fornara N., Gambardella L. M. descrivono il modello simulativo come strumento di verifica delle proposte generate da un tool di ottimizzazione, con particolare focus sull'allocazione delle risorse. Il team opera all'interno dell'Istituto Dalla Molle di Studi sull'Intelligenza Artificiale (IDSIA), istituto di ricerca affiliato con l'Università italiana di Lugano (Svizzera).

Gli stessi autori, nel contesto di un progetto finanziato dalla Comunità Europea, descrivono la realizzazione dell'ambiente di simulazione per terminal intermodali denominato PLATFORM. Il titolo dell'articolo è "A simulation Tool for Combined Rail/Road Transport in Intermodal Terminals": il focus del progetto è la creazione di un modello per la valutazione delle prestazioni dei terminal. La piattaforma è stata sviluppata utilizzando MODSIM III e una parte importante della modellazione è dedicata al traffico stradale e ferroviario. L'articolo è pubblicato nella rivista "Journal of Mathematics and Computers in Simulation".

L'IDSIA propone infine una riflessione sul ruolo e gli impatti della simulazione all'interno del paper "The role of simulation and optimisation in Intermodal container terminals". La gestione di sistemi dinamici e complessi come i terminal intermodali necessita di un approccio di decomposizione in piccoli problemi: questi problemi possono essere studiati e valutati per mezzo di un'analisi di tipo "what-if" in diversi scenari della simulazione.

Il sistema descritto all'interno del paper "Gantry crane operations to transfer containers between trains: a Simulation study of a Spanish terminal" è quello del terminal di Portbou, il principale terminal intermodale tra Spagna e Francia. Il modello è stato implementato utilizzando il software Witness e vuole valutare l'efficacia di diverse modalità di trasferimento di UTI tra i treni presenti all'interno del terminal. L'articolo è stato realizzato da Marín Martínez F., García Gutiérrez I., Ortiz Oliveira A. e Arreche Bedia L. M. ed è contenuto all'interno della rivista "Transportation Planning and Technology" del 2004.

Ramaekers K., Caris A., Gorissen L. all'interno dell'articolo "Analysing the efficiency of an intermodal terminal using simulation" (2012) descrivono il processo di simulazione utilizzando il software Arena. Il caso di studio è basato su dati ottenuti dal terminal di Anversa e dalla letteratura. Gli autori appartengono all'Istituto di Ricerca dei Trasporti dell'Università di Hasselt (Belgio).

L'articolo "Modelling intermodal freight terminal operations" (1995) riporta i risultati della simulazione di due diversi tipi di terminal intermodali per il trasporto combinato: un terminal container e un terminal per il trasporto di semirimorchi. Gli autori Ferreira. L. and Sigut, J. illustrano le caratteristiche di queste due diverse realtà all'interno del trasporto ferroviario australiano: i risultati sono riportati nella rivista "Road and Transport Research Journal".

Il paper "A Simulation Platform for Combined Rail/Road Transport in Multiyards Intermodal Terminals" ha l'obiettivo di modellare il terminal cinese di Qianchang e la relativa circolazione ferroviaria per mezzo di una piattaforma basata sul software Petri Net. Gli autori Chen X., He S., Li T. e Li Y. nell'abstract evidenziano il fatto che la circolazione ferroviaria non sia rappresentata in modo sufficientemente approfondito nei modelli presenti in letteratura: di conseguenza il loro studio affronta questo aspetto rappresentandolo nel dettaglio all'interno della simulazione. L'articolo è stato pubblicato nel 2018 all'interno di "Journal of Advanced Transportation".

2. Reti e flussi di traffico internazionale

2.3 Trasporto ferroviario europeo: reti TEN-T

Le reti TEN-T (acronimo dall'inglese Trans-European Networks – Transport), rappresentano un insieme di infrastrutture di rilevanza comunitaria sia a carattere puntuale, come aeroporti o interporti che lineare, come ferrovie o strade. Al loro interno è stato identificato un Core Network, costituito dai principali nodi urbani, ovvero quelli con la maggiore densità abitativa e dai nodi intermodali più rilevanti con le relative connessioni [3] .

In questo scenario sono definiti dal Regolamento europeo 913/2010 i corridoi merci e le misure volte a garantire l'interoperabilità e lo sviluppo commerciale.

Requisito fondamentale per un corretto funzionamento di un corridoio è la cooperazione tra i vari Gestori delle infrastrutture, nei quattro corridoi che attraversano l'Italia, RFI ha assunto un ruolo di governance.

Tra le principali misure contenute nel Regolamento europeo 913/2010 ricordiamo:

- L'eliminazione delle barriere infrastrutturali tra le differenti reti nazionali, al fine di consentire un agevole passaggio dei treni, quindi la promozione del concetto di interoperabilità.
- L'adeguamento agli standard delle STI (Specifiche Tecniche per l'Interoperabilità) di tutte le linee che costituiscono un corridoio.
- Il miglioramento delle prestazioni del trasporto ferroviario delle merci, rendendolo competitivo.
- La pubblicazione e l'aggiornamento dei Piani di Implementazione dei corridoi.
- La creazione di tracce di corridoio pre-costituite, finalizzate alla promozione del trasporto internazionale delle merci.
- L'analisi delle performance dei treni merci attraverso sistemi di monitoraggio.
- La definizione dei seguenti corridoi:
    - Corridoio Reno-Alpi;
    - Corridoio Mare del Nord-Mediterraneo;
    - Corridoio Scandinavo-Mediterraneo;
    - Corridoio Atlantico;
    - Corridoio Baltico – Adriatico;
    - Corridoio Mediterraneo;
    - Corridoio Oriente/Mediterraneo Orientale;
    - Corridoio Mare del Nord – Baltico;
    - Corridoio Reno – Danubio.

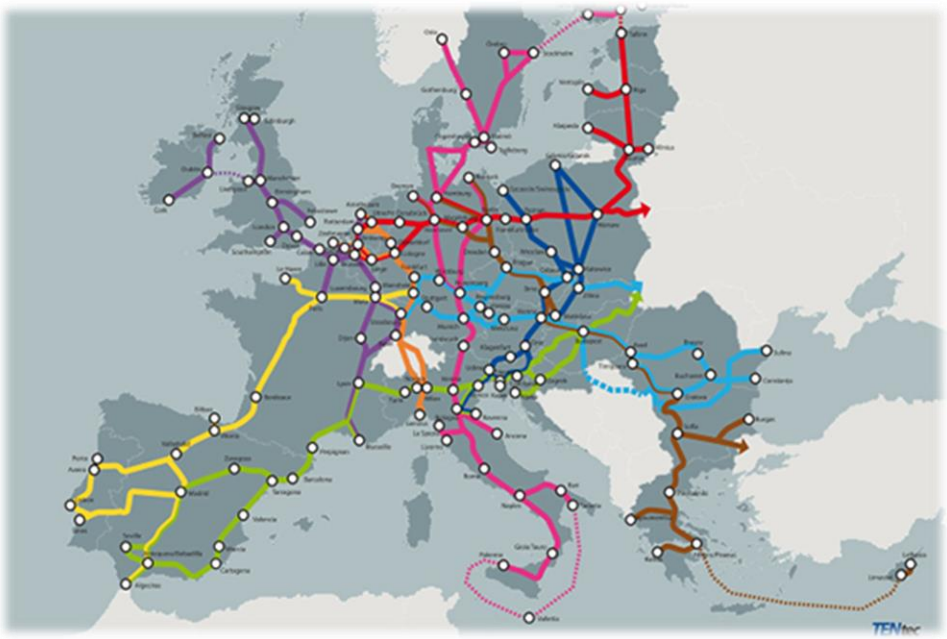


Figura 1: Corridoi europei (fonte: MIT)

2.4 I corridoi italiani

Dei nove corridoi elencati, quattro attraversano l'Italia, ovvero:

- Corridoio Reno-Alpi, il quale si estende da Rotterdam a Genova e presenta le seguenti caratteristiche:
    - 3225 km di ferrovia;
    - 1721 km di strade;
    - 1577 km di vie navigabili;
    - 8 porti marittimi;
    - 13 nodi urbani attraversati;
    - 59 piattaforme multimodali;
    - 5 Corridoi incrociati;
    - 89 miliardi di Euro di investimenti;
    - 6 Paesi attraversati, ovvero: Olanda, Belgio, Germania, Svizzera, Italia e Francia.

- Corridoio Mediterraneo, si estende dalla Spagna all'Ungheria includendo anche la nuova linea Torino – Lione e presenta le seguenti caratteristiche:
    - 8611 km di ferrovia;
    - 5503 km di strade;
    - 9 porti fluviali;
    - 12 porti marittimi;
    - 13 nodi urbani attraversati;
    - 43 piattaforme multimodali;
    - 7 Corridoi incrociati;
    - 104 miliardi di Euro di investimenti;
    - 6 Paesi attraversati, ovvero: Spagna, Francia, Italia, Slovenia, Croazia ed Ungheria [4].

- Corridoio Baltico – Adriatico, denominato anche asse Nord-Sud, infatti connette i porti polacchi, sloveni ed italiani con i terminal dislocati in Repubblica Ceca, Slovacchia ed Austria, raggiungendo un'estensione di 4.825 km.
- Corridoio Scandinavo – Mediterraneo, lungo più di 7.000 connette Norvegia ed Italia [5].

E' necessario sottolineare come la nascita del Core Network dipenda strettamente dalla realizzazione di efficienti collegamenti stradali e ferroviari, senza dimenticare che di pari passo vanno completati entro il 2030 i collegamenti di "ultimo miglio" a porti ed aeroporti. Quest'ultimo aspetto rappresenta una delle sfide più difficili che l'Italia deve affrontare nel breve-medio termine.

Figura 2: Corridoi che interessano l'Italia (fonte: RFI)

3. Obiettivi europei su de-carbonizzazione e contenimento delle emissioni

3.1 Piano europeo per il contenimento delle emissioni

Per contrastare i cambiamenti climatici l'Unione Europea ha proposto una serie di obiettivi ai Paesi membri da raggiungere entro il 2020 [6]:

- Una riduzione almeno del 20% delle emissioni di gas a effetto serra (rispetto ai livelli del 1990);
- Una quota almeno del 20% di energia rinnovabile;
- Un miglioramento almeno del 20% dell'efficienza energetica all'interno delle abitazioni, nell'industria e nei mezzi di trasporto.

Nel 2017 le emissioni si sono ridotte del 23%, mentre la quota di energie rinnovabili ha raggiunto il 17,52%. Per questo motivo sono stati fissati obiettivi più ambiziosi relativi al periodo 2021-2030:

- Una riduzione almeno del 40% delle emissioni di gas a effetto serra (rispetto ai livelli del 1990);
- Una quota almeno del 32% di energia rinnovabile;
- Un miglioramento almeno del 32,5% dell'efficienza energetica.

3.2 Obiettivi europei per il settore trasporti

Il settore dei trasporti è strettamente coinvolto con il raggiungimento di questi obiettivi, esso infatti assorbe il 33% del consumo di energia in Europa e costituisce metà del consumo mondiale di petrolio (55-60% nel 2017) [1].

Gli obiettivi relativi al settore dei trasporti sono definiti dall'European Environment Agency [7]:

- Ridurre le emissioni di gas climalteranti (GHG): al 2030 una riduzione del 20% rispetto al 2008 ed al 2050 del 60% rispetto al 1990;
- Ridurre in modo consistente l'utilizzo di combustibili fossili: quota di energia da fonti rinnovabili pari almeno al 10% sul consumo finale lordo di energia al 2020, ridurre al 2050 del 70% la quota di combustibile fossile;
- Riduzione delle emissioni inquinanti dei mezzi di trasporto.

Altre indicazioni dell'Unione Europea sono riportate all'interno del "Libro Bianco dei trasporti" del 2011 [8]; tra gli altri provvedimenti il documento invita a: "Trasferire entro il 2030 il 30% del trasporto merci su gomma verso ferrovie o vie navigabili nelle percorrenze superiori a 300 km."

3.3 La Convenzione delle Alpi

Nel 1991 i Paesi dell'arco alpino, con lo scopo di preservare lo sviluppo sostenibile e l'ambiente di questo particolare territorio, definirono un trattato internazionale chiamato Convenzione delle Alpi [9].

Al suo interno, il protocollo dei trasporti stabilisce di:

- Ridurre inconvenienti e pericoli che caratterizzano il trasporto intra-alpino;
- Contribuire allo sviluppo degli habitat e degli spazi economici attraverso una politica dei trasporti armonizzata tra i diversi paesi;
- Contribuire a ridurre i pericoli per la biodiversità della zona alpina e per il patrimonio naturale e culturale che la caratterizza;
- Garantire la mobilità di persone e merci a costi economici accettabili grazie ad una maggiore efficacia e sostenibilità dei sistemi di trasporto; incentivare il ricorso all'intermodalità.

I Paesi partecipanti si impegnano a ridurre l'inquinamento atmosferico e acustico, a migliorare la sicurezza di beni e persone, a spostare quote di traffico verso modalità di trasporto meno inquinanti e più efficienti dal punto di vista energetico.

4. Il trasporto intermodale

Per la stesura di questo capitolo è stato preso come riferimento il libro "Sistemi di trasporto intermodali" [2], da cui sono state riprese le definizioni relative a al trasporto ferroviario e intermodale.

4.1 Tipologie di trasporto e unità di trasporto intermodali

Il trasporto ferroviario delle merci può essere effettuato in due diverse modalità:

- Trasporto tradizionale o "diffuso";
- Trasporto intermodale.

Il trasporto intermodale è definito come "Il trasferimento di merce mediante una medesima unità di caricamento o un medesimo veicolo stradale utilizzando due o più modi di trasporto e senza la manipolazione della merce stessa" [UN/ECE].

Una particolare forma di questa seconda categoria è il trasporto combinato. Esso effettua i percorsi iniziali, più brevi, su strada mentre impiega per la maggior parte del tragitto la ferrovia (o in alternativa vie navigabili o trasporto marittimo). Il cambio di modalità viene eseguito in apposite strutture chiamate terminal.

Le unità di trasporto intermodale, anche dette UTI, sono:

- **Container**: unità per il trasporto intermodale concepita per il trasporto marittimo, viene impiegata anche nel trasporto ferroviario e stradale; è adatta alla movimentazione verticale ed è sovrapponibile. Il container è dotato ai 4 spigoli di blocchi d'angolo che possono essere agganciati da una gru per mezzo di uno spreader equipaggiato con twist-lock.

Figura 3: Container (fonte: [10])

- **Cassa mobile**: unità per il trasporto intermodale progettata per il trasporto combinato strada-rotaia, adatta alla movimentazione verticale e, se scarica, può essere sovrapponibile.

Figura 4: Cassa mobile (fonte: [10])

- **Semirimorchio**: veicolo adatto ad essere accoppiato ad un veicolo a motore in modo che una sua parte si poggi sul veicolo a motore. I semirimorchi devono essere attrezzati per essere resi adatti al trasporto combinato.

Figura 5: Semirimorchio (fonte: [10])

4.2 Terminal intermodali

I terminal sono le infrastrutture dove avviene il cambio di modalità per mezzo della movimentazione delle UTI. I terminal per il trasporto combinato strada-rotaia vengono detti "inland" per distinguerli dai terminal per container marittimi che si trovano in corrispondenza dei porti.

Essi prendono il posto delle vecchie stazioni di smistamento, infrastrutture per il trasporto diffuso. Queste stazioni sfruttavano una pendenza, detta "sella di lancio", e un sistema di scambi per formare i treni indirizzando i singoli carri. In Italia, con l'affermarsi dell'intermodalità, sono entrate in disuso.

I terminal occupano solitamente una superficie di almeno 50.000 m2 al loro interno comprendono:

- **Binari operativi**: i binari in cui i treni possono essere serviti dalle gru/attrezzature di movimentazione delle UTI. Con il regime di gestione "statica" viene servita una sola coppia di treni al giorno: il treno raggiunge il binario la mattina, viene scaricato e ricaricato nel corso della giornata per poi ripartire la sera. La gestione dinamica prevede invece che ogni binario operativo possa servire più coppie di treni al giorno, raggiungendo una maggiore produttività.

- **Binari di sosta, di manovra e di presa e consegna**: binari di supporto che ospitano i treni in attesa, permettono di effettuare le manovre e la consegna all'ente ferroviario; sono esterni al terminal vero e proprio.
- **Aree destinate al movimento dei veicoli stradali**: ne fanno parte le corsie di carico/scarico, le corsie di scorrimento, piazzali di manovra e parcheggi.
- **Aree di deposito delle UTI**: alcune aree devono necessariamente essere destinate al deposito delle UTI, ma queste non rimangono all'interno del terminal per più di qualche ora o al massimo per un paio di giorni. Le aree di stoccaggio vere e proprie, dove le UTI possono rimanere per settimane, sono solitamente collocate all'esterno del terminal.
- **Area per i gate, uffici e servizi**: i gate sono le strutture in cui vengono visionati i documenti dei veicoli stradali in ingresso ed effettuati i controlli per verificare l'integrità delle UTI.
- **Aree di supporto alle funzioni dei terminal**: magazzini tecnici, officine, depositi di manutenzione per i mezzi di movimentazione delle UTI.

Una particolare tipologia di terminal inland è il terminal gateway: in queste infrastrutture parte delle UTI provenienti dal traffico ferroviario viene trasbordata direttamente da un treno all'altro; per questo viene anche definito anche "terminal di smistamento".

4.3 Interporti e piattaforme logistiche

Il Disegno di legge A.S. n. 3257 contiene le definizioni delle altre principali infrastrutture intermodali [11].

"L'interporto è il complesso organico di infrastrutture e di servizi integrati di rilevanza nazionale gestito da un soggetto imprenditoriale che opera al fine di favorire la mobilità delle merci tra diverse modalità di trasporto, con l'obiettivo di accrescere l'intermodalità e l'efficienza dei flussi logistici." Gli obiettivi di una simile infrastruttura sono di ottimizzare le risorse impiegate e i tempi, supportare l'integrazione tra gli operatori presenti al suo interno e aumentare l'efficienza dell'intero sistema economico; al suo interno è presente almeno un terminal. Oltre a ciò vengono anche forniti servizi per gli operatori, assistenza per i conducenti e i loro mezzi.

Un'infrastruttura intermodale ancora più ampia è la piattaforma logistica, che si estende per milioni di m2 e rappresenta un nodo fondamentale per il raggiungimento di mercati internazionali. "Viene definito piattaforma logistica territoriale, il complesso delle infrastrutture e dei servizi, destinati a svolgere funzioni connettive di valore strategico per l'intero territorio nazionale, in particolare nei suoi rapporti con la rete transnazionale dei trasporti, per favorire l'interconnessione più efficace al fine di migliorare la competitività del Paese".

4.4 Movimentazione delle uti e relative attrezzature

All'interno dei terminal le UTI possono essere caricate con due diverse tecniche:

- **RORO** (roll on – roll off): le UTI vengono caricate orizzontalmente sul treno utilizzando la trazione del veicolo stradale o una trazione di servizio. Nel caso dell'autostrada viaggiante è previsto il caricamento dell'intero veicolo sui vagoni ferroviari. Si parla di trasporto accompagnato nel caso in cui l'autista effettui il tragitto su ferrovia assieme al veicolo stradale (solitamente in una carrozza apposita);
- **LOLO** (lift on – lift off): le UTI vengono sollevate dagli apparecchi di movimentazione e caricate/scaricate sul/dal treno. Per il sollevamento di container gli spreader delle gru dovranno essere provvisti di twist-lock, ossia di un'attrezzatura che permette di agganciare i blocchi d'angolo del container. Per la movimentazione verticale dei semirimorchi e delle casse mobili è necessario l'utilizzo di bracci a pinza detti piggy-back.

Nel caso del trasporto combinato strada-rotaia all'interno terminal vengono principalmente impiegati i seguenti mezzi di movimentazione:

- **Gru semoventi frontali** (reach stacker): gru a braccio fisso, solitamente telescopico, dotato di spreader con twist-lock e/o bracci a pinza. Vengono prevalentemente impiegate in terminal con bassi volumi di traffico o come supporto in caso di guasti alle gru a portale.

Figura 6: Gru semovente frontale (fonte: [10])

- **Gru a portale**: solleva il carico mediante un carrello che scorre all'interno di un portale, scorre per mezzo di rotaie o ruote gommate. Presenta un'alta produttività e permette di effettuare direttamente il trasbordo treno-treno, rendendola la soluzione ottimale per i terminal di tipo gateway.

Figura 7: Gru a portale (fonte: [10])

4.5 I costi del trasporto combinato

I costi propri del trasporto combinato sono costituiti da:

- Trazione stradale dal punto di origine al terminal di partenza;
- Operazioni nel terminal di partenza;
- Trazione sulla tratta ferroviaria;
- Operazioni sul terminal di arrivo;
- Trazione stradale dal terminal di arrivo alla destinazione finale;
- Costo di utilizzo dell'UTI;
- Costo di utilizzo del carro ferroviario;
- Costi di gestione dell'operatore ferroviario.

Rispetto al trasporto stradale il trasporto combinato risulta essere più competitivo nella fase di trazione vera e propria, in quanto i costi energetici e di personale sono suddivisi tra tutti i carri del treno e quindi risultano minori di quelli di un singolo autoarticolato. Le operazioni nei terminal e le trazioni stradali necessarie per raggiungerli rappresentano costi aggiuntivi rispetto al trasporto su strada.

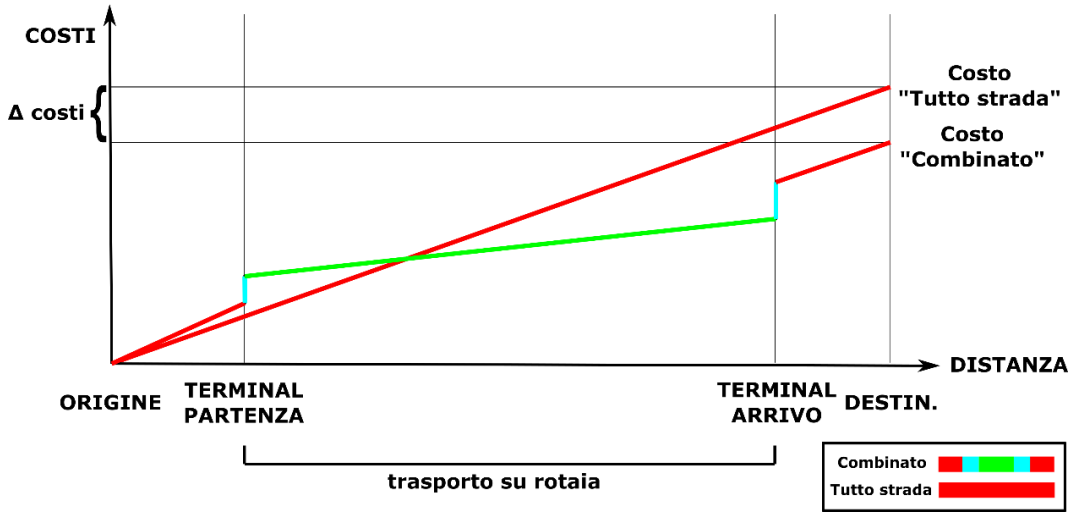


Figura 8: Schematizzazione indicativa della struttura dei costi del trasporto combinato (fonte: [2])

Il trasporto combinato risulta quindi più conveniente sulle lunghe distanze e se i punti di origine/destinazione sono collocati nella vicinanza dei terminal.

È anche per questo motivo che il Libro Bianco dei trasporti consigli il trasferimento modale da gomma a ferro per le percorrenze superiori a 300 km; l'obiettivo è quello di raggiungere una quota del 30% entro il 2030.

4.6 Vantaggi del trasporto combinato

L'Osservatorio Torino-Lione è l'organo in cui avvengono tutte le discussioni di carattere tecnico relative alla realizzazione della Nuova Linea Torino Lione; i risultati del lavoro di questo ente sono raccolti in dei documenti chiamati "Quaderni". Nel dettaglio il Quaderno numero 15 [12] vuole evidenziare i contributi che il trasporto ferroviario può apportare alla tutela dell'ambiente: le principali conclusioni di questo documento sono riportate di seguito.

La ferrovia, nonostante ricopra solo l'8,5% dell'intera quota di mercato del settore trasporti, oggi risulta essere il sistema di trasporto più efficiente: utilizzando la stessa quantità di energia percorre una distanza 6 volte maggiore a quella percorsa dal trasporto su gomma.

Il suo consumo energetico costituisce solo il 3% del settore dei trasporti e si prevede che possa ridursi del 30% nel 2030 e del 50% nel 2050 (rispetto al 1990). L'80% delle ferrovie sono alimentate a energia

elettrica, di cui un terzo è attualmente prodotta utilizzando fonti di energia rinnovabile. Attualmente è l'unica modalità di trasporto in grado di funzionare completamente senza l'ausilio di combustibili fossili.

All'interno del Quaderno viene anche proposta una riflessione relativa all'occupazione di suolo, dove sono messe a confronto la linea ferroviaria ad alta velocità e l'autostrada. Una linea ferroviaria AV a doppio binario occupa 25 metri di larghezza; supponendo che un treno sia in grado di trasportare 666 passeggeri e che su ognuno dei due binari possano transitare 12 treni all'ora si ottiene una capacità di più di quasi 16.000 passeggeri ogni ora. Per raggiungere una capacità simile è necessaria un'autostrada a 6 corsie che si estenda per 75 metri in larghezza. Mediamente un'automobile porta 1,7 persone a bordo e ognuno dei sensi di marcia dell'autostrada è in grado di trasportare 4.500 auto all'ora. Considerando entrambi i sensi di marcia si ottengono quindi un totale di 15.300 passeggeri ogni ora. Risulta evidente come, a parità di capacità di passeggeri trasportati, la ferrovia occupi un terzo del suolo rispetta all'autostrada.

Un ulteriore vantaggio della ferrovia rispetto al trasporto stradale è la minore incidentalità e mortalità. Nel solo Piemonte nel corso del 2017 sono state registrate 279 vittime per incidenti stradali, mentre nello stesso anno i morti causati da incidenti ferroviari in tutta Italia sono 55; di cui solo il 7% delle vittime faceva parte dei passeggeri o del personale viaggiante (la maggior è costituita da incidenti ai passaggi a livello o nei pressi dei convogli in movimento).

4.7 Ottica futura: ETR merci

Molte delle difficoltà attualmente riscontrate nel trasporto ferroviario potrebbero essere superate ricorrendo all'utilizzo di treni merci ancora non presenti sul mercato e con caratteristiche di: trazione multipla, potenza distribuita e singoli carri elettrificati; in sintesi si tratterebbe di ETR merci [13]. Essi permetterebbero inoltre di avere carri che tramite comando elettrico sarebbero in grado di esercitare frenatura pneumatica ed elettrica dei singoli assi motori.

La presenza di potenza distribuita, inoltre, fornirebbe il modo di bypassare il classico schema a due/tre locomotori e consentirebbe la formazione treni anche da 35 carri, in modo tale da andare incontro alle direttive dell'UE.

Gli ETR merci inoltre consentirebbero di incrementare le velocità di percorrenza, raggiungendo anche i 120-140 km/h, da non trascurare il vantaggio fornito dalla diagnosticabilità del convoglio. Un treno diagnosticabile avrebbe la possibilità di circolare sulle attuali linee AV/AC, occupando tracce ad oggi libere.

Se si dovessero adottare carri a pianale, gli ETR merci potrebbero essere utilizzati sia nel combinato strada-rotaia classico che in terminal con schema di funzionamento gateway.

5. Offerta attuale: rete esistente

5.1 La direttrice Torino - Modane

Attualmente è possibile trasportare merci da Torino a Modane attraverso il traforo (stradale o ferroviario) del Frejus; 11,1 Mton utilizzano il trasporto su gomma, mentre solo 2,7 Mton la ferrovia [14].

Questo divario è causato da alcune caratteristiche della ferrovia del Frejus che la rendono meno competitiva della controparte stradale. La "linea storica", così chiamata per distinguerla dalla nuova linea in fase di costruzione, presenta delle limitazioni alla lunghezza dei treni dovute all'infrastruttura attuale. Questo è in contraddizione con l'obiettivo europeo di formare treni da 750m: treni più lunghi (35 carri invece dei 20 circa attuali) permettono di ripartire i costi dovuti all'intero convoglio in più unità, riducendo di fatto il costo per il singolo carro merci. Un'altra problematica della linea storica è l'eccessiva pendenza, che raggiunge valori del 33‰. Questo obbliga a ridurre la massa dei convogli o ad aggiungere locomotori, con un conseguente aumento dei costi.

5.2 Attuale piattaforma logistica di Torino Orbassano

La piattaforma logistica di Torino Orbassano si trova a cavallo della tangenziale sud di Torino e si propone come mezzo per promuovere il trasporto combinato strada-rotaia.

L'obiettivo della piattaforma è affermarsi come crocevia dei trasporti italiani ed europei, in particolare grazie al fatto che la nuova linea Torino Lione raggiungerà direttamente lo scalo e lo attraverserà. Sono previsti diversi interventi di upgrading tecnologico e infrastrutturale per rendere lo scalo compatibile con la nuova linea e i nuovi flussi di traffico. Questi interventi sono definiti in due diversi scenari, sul medio periodo e sul lungo periodo.

La piattaforma è costituita da 4 principali aree:

- Scalo ferroviario di Torino Orbassano;
- Interporto SITO;
- Centro Agro Alimentare di Torino (CAAT);
- Termovalorizzatore (TRM).

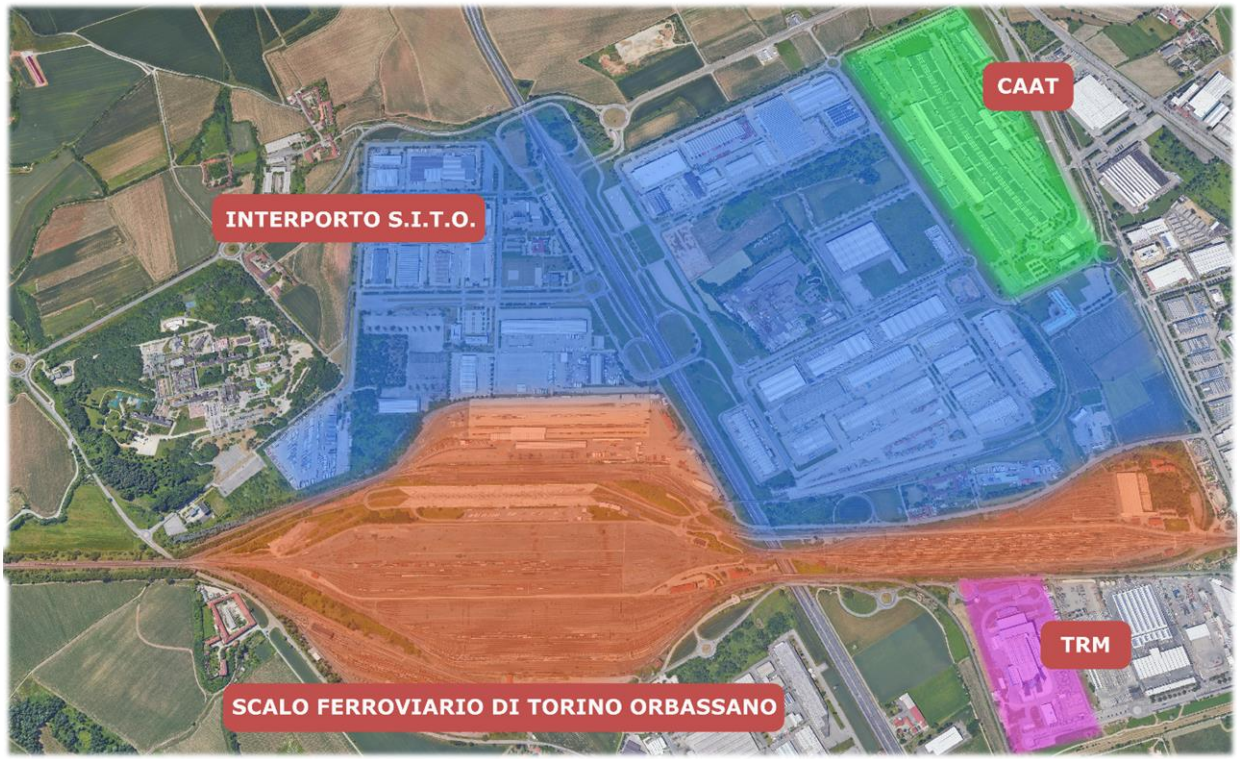


Figura 9: Principali aree della piattaforma logistica di Torino Orbassano (elaborazione immagini Google Maps)

Per descrivere le diverse aree della piattaforma sono state realizzate delle interviste ai principali operatori; le altre fonti sono i siti istituzionali di ognuna di queste realtà e un articolo di approfondimento su Intermodale24-rail [10] , portale online per l'integrazione strada-rotaia.

5.2.1 Scalo ferroviario di Torino Orbassano

È concepito negli anni 70 come stazione di smistamento per la movimentazione di carri del trasporto "diffuso". Viene attivato nel 1981 ma risulta evidente quanto questo meccanismo sia ormai antiquato: per il trasporto diffuso si predilige la formazione di treni completi e si assiste all'affermazione del trasporto intermodale. Per questo motivo la sella di lancio oggi è dismessa e il fascio di binari ad essa adiacenti viene ora utilizzato come fascio di sosta.

Per rispondere a questi cambiamenti sono stati creati due terminal intermodali, uno tradizionale gestito da Terminali Italia e in parte da altre imprese, il secondo è l'Autostrada Ferroviaria Alpina (AFA).

5.2.1.1 Terminal RFI

Il terminal in area RFI è amministrato da Terminali Italia S.r.l ,società del Gruppo Ferrovie dello Stato costituita nel 2008 per la gestione integrata dei servizi terminalistici. Il terminal intermodale dispone di 5 binari operativi per le operazioni di carico/scarico delle UTI e utilizza 6 gru semoventi frontali.

Nell'area sono presenti anche altri 2 binari gestiti da DB Schenker. Essi sono dedicati al trasporto diffuso, in particolare di materiale siderurgico e merci pallettizzate. Vengono utilizzati 4 carrelli con forche a sbalzo.

5.2.1.2 Terminal Autostrada Ferroviaria Alpina (AFA)

L'Autostrada Ferroviaria Alpina è un servizio infrastrutturale per il trasporto combinato strada rotaia tra Italia e Francia, nato nel 2003 grazie a una collaborazione tra i due paesi per ridurre il traffico stradale attraverso i valichi alpini.

Il terminal è gestito per la parte ferroviaria da Mercitalia Logistics (Gruppo Ferrovie dello Stato), mentre Sito Logistica S.c.p.a per l'accesso e il carico dei veicoli stradali.

L'unico binario presente in questa area è attrezzato con speciali pedane che permettono alle vasche di carico dei carri Modalohr di ruotare; in questo modo è possibile caricare i semirimorchi utilizzando delle apposite motrici. Una volta caricati tutti i semirimorchi tutte le vasche ritornano alla posizione originale. Ogni giorno al suo interno vengono servite 4-5 coppie di treni che viaggiano verso la Francia.

Figura 10: Terminal AFA (visita guidata 20/11/2019)

5.2.1.3 Altri fasci di binari e raccordi

Lo scalo è connesso con i binari di linea che conducono verso Torino o verso Modane; i treni vengono ricevuti in un fascio arrivi/partenze che si trova all'estremità nord, vicino all'ingresso di strada del Portone.

Da lì i treni possono raggiungere il fascio dogana, che funge da collegamento per i terminal dell'area RFI e al raccordo SITO I binari di questo fascio vengono utilizzati dai terminal per la sosta e la manovra dei treni serviti.

All'estremità opposta rispetto al fascio arrivi/partenze sono presenti le aste di manovra, esse permettono di raggiungere un fascio di sosta che si trova dove un tempo c'erano i binari della stazione di smistamento.

Il fascio sud oggi è scarsamente utilizzato, fatta eccezione per un binario di circolazione che collega le aste al fascio arrivi partenze. All'estremità inferiore di questo fascio si trovano alcuni binari riservati a FCA e a OMV: le due aziende possiedono dei raccordi che le collegano direttamente allo scalo; attraverso di essi inviano e ricevono treni completi che transitano dallo scalo ferroviario prima di per raggiungere la linea.

Figura 11: Fasci di binari e terminal dello scalo ferroviario di Torino Orbassano (elaborazione immagini Google Maps)

5.2.2 Interporto S.I.TO

S.I.TO S.p.A. è una società mista pubblico-privato, a capitale prevalentemente pubblico, che si occupa della costruzione e della gestione dell'interporto di Torino. L'interporto si estende su una superficie di quasi 3.000.000 m2, di cui oggi sono attivi 900.000 m2 di magazzini utilizzati da 200 operatori logistici.

SITO si occupa della gestione di 3 binari operativi per mezzo della sua controllata Sito Logistica S.c.p.A. I suoi clienti sono prevalentemente treni dedicati organizzati da grandi operatori logistici. Vengono utilizzati 4 carrelli con forche a sbalzo e la modalità di trasporto è quello diffuso.

Gli altri due binari presenti nell'area S.I.TO sono dedicati al trasporto di container a opera di Torino Terminal Container S.r.l, società costituita dalla famiglia Scarangella che lavora nel campo dagli anni 70.

Complessivamente i due terminal nel 2017 hanno movimentato 557 treni per circa 600.000 tonnellate di merce. Per le operazioni di carico/scarico vengono utilizzate 4 gru semoventi frontali.

Figura 12: Terminal Interporto SITO (visita guidata 13/11/2019)

5.2.3 Centro agro alimentare di Torino (CAAT)

Nata nel 1989 in gran parte grazie al Comune di Torino la società CAAT S.c.p.A aveva lo scopo di creare una nuova sede per il mercato ortofrutticolo della città e le imprese che lo servivano. Terminato nel 2002 il CAAT è situato al confine nord dell'interporto di Torino e raccoglie tutte le imprese grossiste, i produttori agricoli e le imprese di servizi che gravitano attorno al mercato agro alimentare. Attraverso di esso transitano circa 500.000 tonnellate di merce all'anno, al momento solo su gomma. All'interno del CAAT sono già presenti i raccordi per il collegamento ferroviario con il terminal dell'Interporto che potrebbero essere sfruttati in futuro.

Figura 13: Centro agro alimentare di Torino (fonte: sito web CAAT)

Sono state realizzati degli incontri con alcuni dei grossisti presenti all'interno di CAAT ed altri attori del settore ortofrutta che ricevono parte dei loro conferimenti dal porto di Vado Ligure. Al momento il trasporto ferroviario presenta dei limiti di flessibilità e tecnologici (assenza di carri a temperatura controllata) che non lo rendono subito una soluzione praticabile per queste realtà; ma è stato manifestato interesse per il servizio di trasporto di semirimorchi offerto da AFA (in particolare per merci provenienti dalla Spagna). Un'ulteriore possibilità per sviluppare il trasporto ferroviario potrebbe essere la realizzazione di treni navetta tra Torino Orbassano e Vado Ligure: questi treni permetteranno di aggregare la domanda di tutti i piccoli operatori presenti ad Orbassano (che non sono in grado di formare un treno in autonomia) garantendo continuità al traffico ferroviario.

5.2.4 Termovalorizzatore (TRM)

TRM S.p.A (Trattamento Rifiuti Metropolitani) è la società del Gruppo Iren che ha realizzato e gestisce il termovalorizzatore della Città di Torino. L'impianto tratta rifiuti solidi urbani e assimilabili agli urbani provenienti da tutta la provincia di Torino. Al momento l'impianto non è sfruttato al massimo e i collegamenti sono effettuati per mezzo di veicoli stradali; potrebbe essere una proposta interessante realizzare un collegamento ferroviario per accogliere anche i rifiuti provenienti dalle altre province piemontesi o da altre regioni italiane.

Figura 14: Termovalorizzatore della Città Metropolitana di Torino (fonte: sito web TRM)

6. Domanda di trasporto

6.1 Traffici odierni sui principali valichi alpini

Le politiche dei trasporti devono imporsi l'obiettivo di rafforzare i vantaggi di un mercato competitivo e mitigare le debolezze territoriali, in modo tale da colmare i gap economici e favorire la coesione economica, sia a livello nazionale che europeo. In Italia dal 2008 al 2017 la componente del PIL legata alle esportazioni ha segnato tassi di crescita degni di nota, toccando un +21.7%.

Oltre il 30% del PIL italiano dipende dall'export e nel Nord-Ovest si concentra il 41% dell'export nazionale. Questi dati permettono di capire quanto sia importante dotarsi di un sistema infrastrutturale che agevoli il più possibile le esportazioni, con l'assoluta necessità di una visione di sistema integrato fra assi transalpini e sistemi portuali. A sostegno di ciò si ricordi che la portualità ligure tra il 2010 ed il 2018, in un contesto economico sfavorevole, ha registrato un incremento pari a 923.000 TEU's nei traffici container e una crescita del 43.5% nei traffici Ro/Ro, con dinamiche di crescita nettamente superiori alla media dei trasporti in Italia.

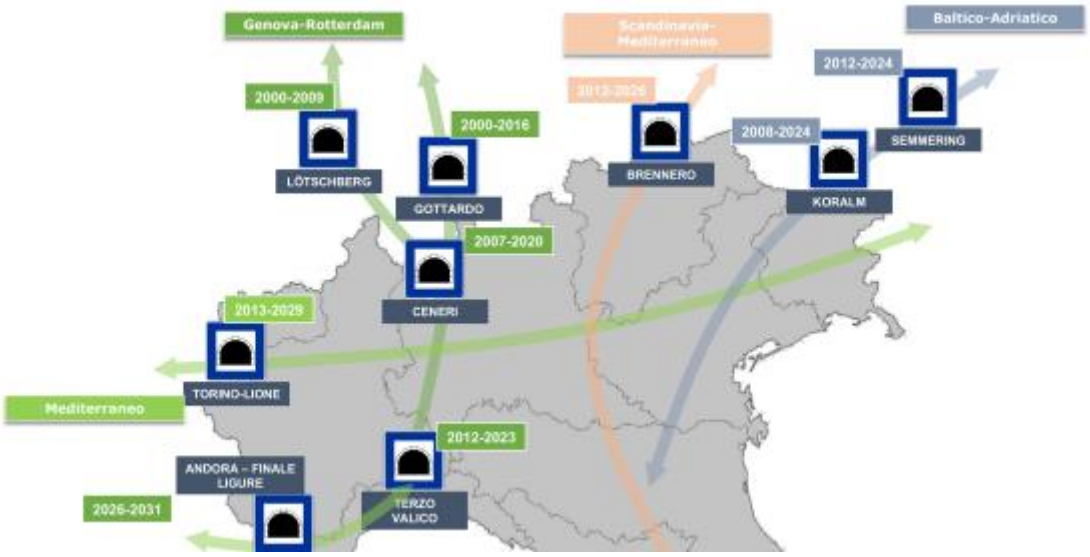


Figura 15: Corridoi europei e relativi valichi (fonte: elaborazione CERTeT)

VALICO	STRADA [1000 tonn]	FERROVIA [1000 tonn]
VENTIMIGLIA	19339	337
FREJUS	10579	2921
MONTE BIANCO	8736	//
SEMPIONE	1087	13439
GOTTARDO	8435	15309
S. BERNARDINO	1871	//
BRENNERO	33485	13402
TAURI	15064	9682

Tabella 1: Flussi attraverso i principali valichi alpini nel 2016 (fonte: UE)

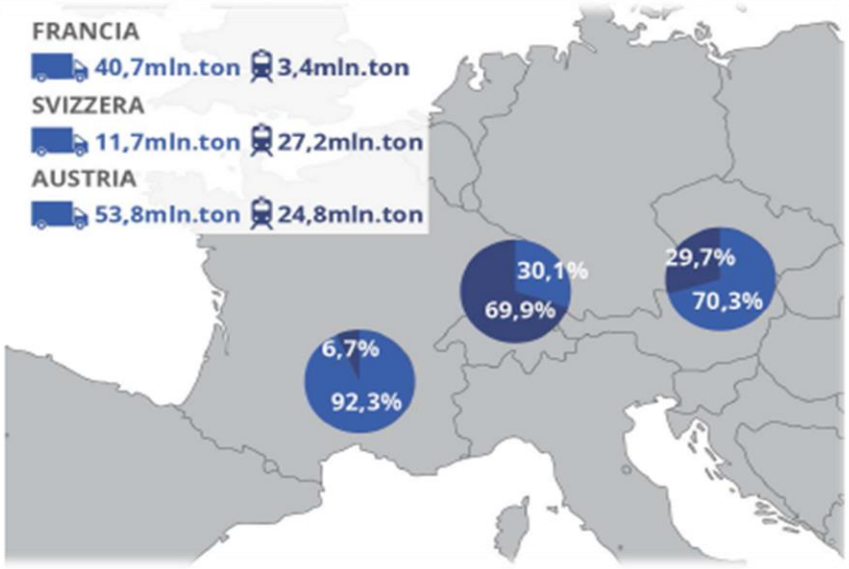


Figura 16: Traffici internazionali attraverso le Alpi 2017(fonte: DG MOVE e FOT)

In tabella 1 ed in figura 16 vengono riassunti i flussi che hanno attraversato le Alpi nel 2016 e nel 2017, suddividendoli nelle quote modali stradale e ferroviaria. Il Brennero assume il ruolo di primo valico alpino ed il suo traffico rappresenta il 10.5% degli scambi totali italiani. Il trasferimento della merce dalla strada alla ferrovia per le tratte di media e lunga percorrenza ha un'elevatissima valenza economica, infatti come riporta uno studio CERTeT Bocconi del 2018 per il corridoio Mediterraneo, le esternalità si riducono ad un decimo. Esse sono pari a 0.049 Euro per ton*km nel caso stradale e 0.005 nel caso ferroviario. In termini assoluti nel caso di una tratta di lunghezza pari a 900 km un servizio di tipo intermodale con treno da 35 UTI offre un risparmio del 27% rispetto al tutto strada. Al 2018 erano disponibili, considerando entrambi i sensi di circolazione di tutti i valichi alpini, in totale 542 tracce merci. Esse erano e sono tutt'oggi per lo più concentrate nella zona centrale dell'Arco Alpino, in corrispondenza dei confini con la Svizzera. Questa ripartizione è diretta conseguenza delle forti politiche di incentivazione adottate dal governo svizzero. Per il 2030 sono previste 970 tracce totali.

Per un riequilibrio modale è necessario effettuare:

- Una stabilizzazione del ferrobus e dello "sconto traccia";
- L'eliminazione dei colli di bottiglia e "missing link", realizzando il cosiddetto "ultimo miglio";
- Un progressivo lancio di servizi in linea con gli standard prestazionali europei: convogli di lunghezza tendente ai 750m, capacità di carico pari a 2000 tonnellate e sagoma PC80 [15].

6.2 Dinamiche di sviluppo ed interscambio di beni attraverso l'arco alpino occidentale

I dati relativi al 2017 confermano che l'interscambio economico con gli Stati raggiungibili attraverso l'Arco Alpino Occidentale è consistente e oltrepassa i 170 miliardi di euro/anno, superando di circa il 5% i valori pre-crisi del 2007. Sempre nel 2017 le sole relazioni commerciali tra Italia e Francia toccano il valore record di 81.37 miliardi di euro. I principali prodotti esportati sono: autoveicoli, macchinari industriali, abbigliamento, metalli, materie plastiche, medicinali e prodotti farmaceutici.

In figura 17 è rappresentato il trend degli scambi commerciali tra Italia ed Europa occidentale a partire dal 2006 fino al 2017.

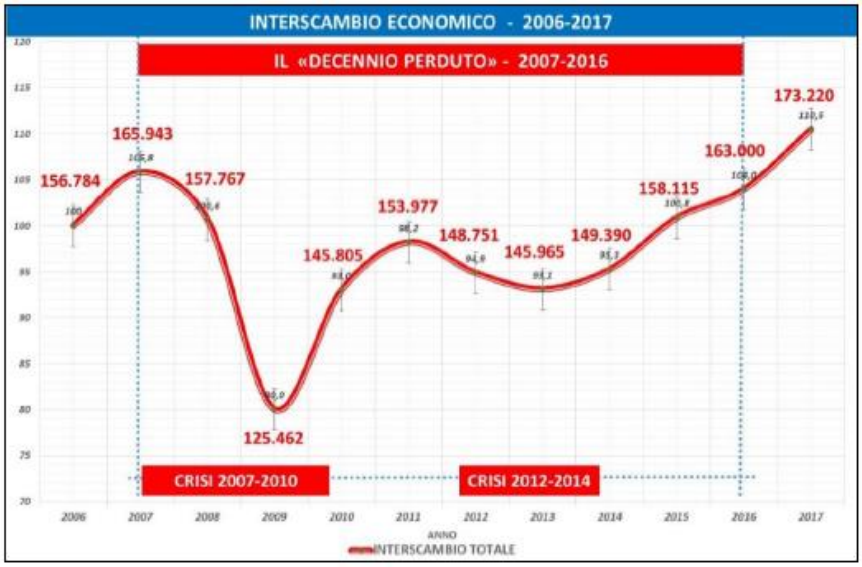
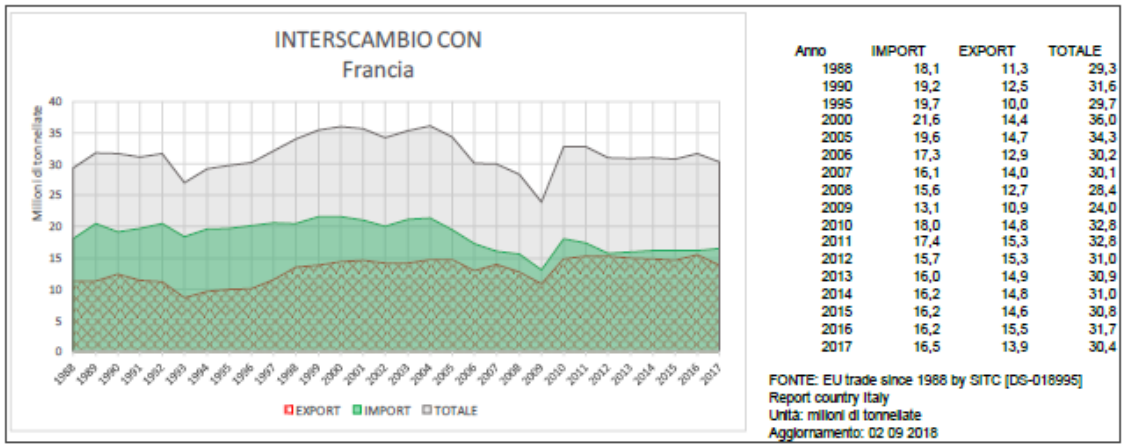


Figura 17: Scambi commerciali tra Italia ed Europa occidentale (fonte: Quaderno 11 Osservatorio Torino - Lione)

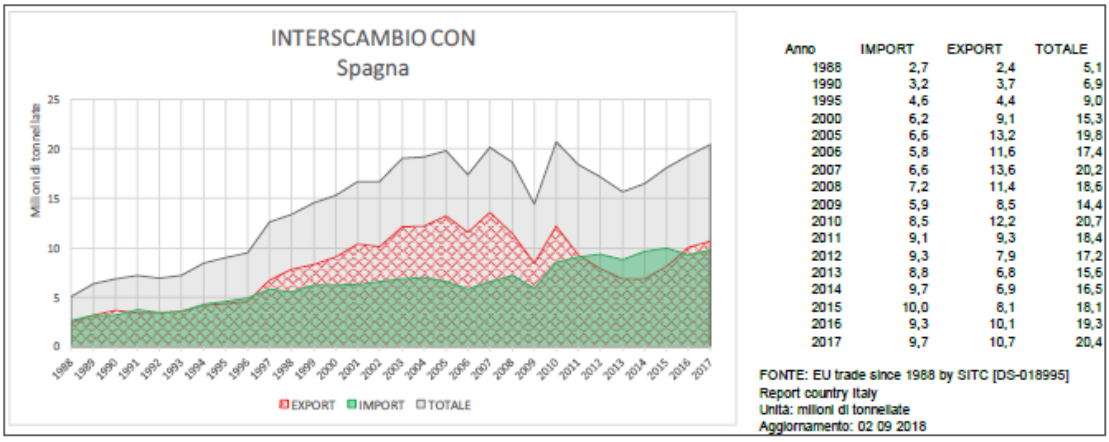
Entrando nel dettaglio, nelle figure 18, 19, e 10 si esaminano singolarmente gli scambi con Francia, Spagna e Portogallo, in termini di milioni di tonnellate scambiate all'anno, scindendo i dati di import e di export:



Anno	IMPORT	EXPORT	TOTALE
1988	18,1	11,3	29,3
1990	19,2	12,5	31,6
1995	19,7	10,0	29,7
2000	21,6	14,4	36,0
2005	19,6	14,7	34,3
2006	17,3	12,9	30,2
2007	16,1	14,0	30,1
2008	15,6	12,7	28,4
2009	13,1	10,9	24,0
2010	18,0	14,8	32,8
2011	17,4	15,3	32,8
2012	15,7	15,3	31,0
2013	16,0	14,9	30,9
2014	16,2	14,8	31,0
2015	16,2	14,6	30,8
2016	16,2	15,5	31,7
2017	16,5	13,9	30,4

FONTE: EU trade since 1988 by SITC [DS-018995]
Report country Italy
Unità: milioni di tonnellate
Aggiornamento: 02 09 2018

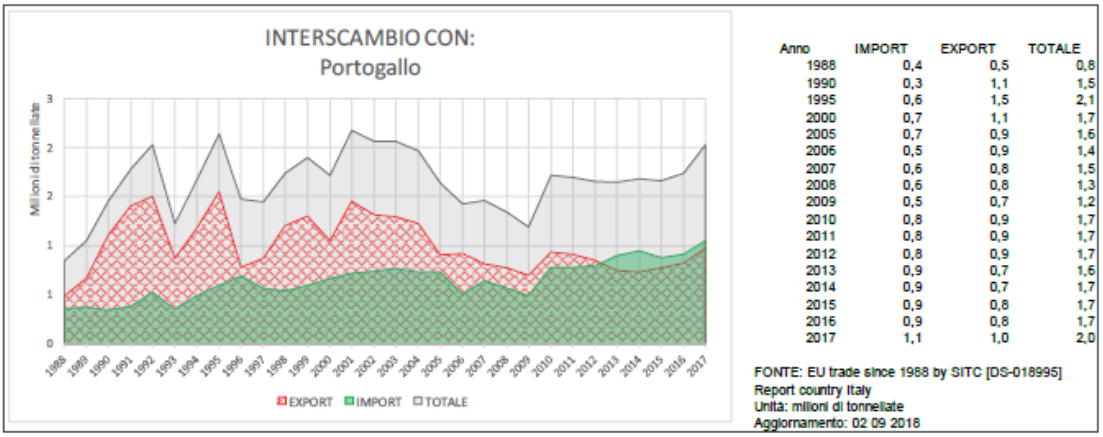
Figura 18: Scambi in termini di milioni di tonnellate/anno tra Italia e Francia (fonte Quaderno 11 Osservatorio Torino - Lione)



Anno	IMPORT	EXPORT	TOTALE
1988	2,7	2,4	5,1
1990	3,2	3,7	6,9
1995	4,6	4,4	9,0
2000	6,2	9,1	15,3
2005	6,6	13,2	19,8
2006	5,8	11,6	17,4
2007	6,6	13,6	20,2
2008	7,2	11,4	18,6
2009	5,9	8,5	14,4
2010	8,5	12,2	20,7
2011	9,1	9,3	18,4
2012	9,3	7,9	17,2
2013	8,8	6,8	15,6
2014	9,7	6,9	16,5
2015	10,0	8,1	18,1
2016	9,3	10,1	19,3
2017	9,7	10,7	20,4

FONTE: EU trade since 1988 by SITC [DS-018995]
Report country Italy
Unità: milioni di tonnellate
Aggiornamento: 02 09 2018

Figura 19: Scambi in termini di milioni di tonnellate/anno tra Italia e Spagna (fonte: Quaderno 11 Osservatorio Torino - Lione)



Anno	IMPORT	EXPORT	TOTALE
1988	0,4	0,5	0,8
1990	0,3	1,1	1,5
1995	0,6	1,5	2,1
2000	0,7	1,1	1,7
2005	0,7	0,9	1,6
2006	0,5	0,9	1,4
2007	0,6	0,8	1,5
2008	0,6	0,8	1,3
2009	0,5	0,7	1,2
2010	0,8	0,9	1,7
2011	0,8	0,9	1,7
2012	0,8	0,9	1,7
2013	0,9	0,7	1,6
2014	0,9	0,7	1,7
2015	0,9	0,8	1,7
2016	0,9	0,8	1,7
2017	1,1	1,0	2,0

FONTE: EU trade since 1988 by SITC [DS-018995]
Report country Italy
Unità: milioni di tonnellate
Aggiornamento: 02 09 2018

Figura 20: Scambi in termini di milioni di tonnellate/anno tra Italia e Portogallo (fonte: Quaderno 11 Osservatorio Torino - Lione)

Sono stati totalmente ignorati i flussi diretti verso il Regno Unito, ipotesi questa molto cautelativa poiché nella realtà importanti scambi commerciali attraversano l'Arco Alpino Occidentale e sono diretti oltremanica. Nonostante ciò le statistiche dimostrano che in un periodo di profonda crisi economica non si è mai scesi sotto le 50 milioni di tonnellate/anno di merci trasportate.

Tecnicamente sarebbe corretto includere nelle stime anche i traffici diretti verso il Benelux, tuttavia essi si sviluppano quasi integralmente attraverso i valichi svizzeri, quindi per i fini di questa ricerca non hanno grande rilevanza.

Al 2017 sui tre attraversamenti autostradali diretti in Francia, ovvero Ventimiglia, Frejus e Monte Bianco transitavano 2.884.000 TIR, valore questo equivalente a 40.695.300 tonnellate di merci. Volendo entrare più nel dettaglio ed esaminando i dati riportati in tabella 2 si nota come il trasporto ferroviario nel ventennio 1997 – 2017 abbia perso il 73% dei suoi traffici sulla Linea Storica ed il 23% su Ventimiglia [16].

VALICO	STRADA 2017 [tonn/anno]	FERROVIA 2017 [tonn/anno]	FERROVIA 1997 [tonn/anno]
FREJUS	11 130 600	2 793 200	10 111 500
VENTIMIGLIA	19 534 500	672 700	875 000
MONTE BIANCO	9 445 500	//	//

Tabella 2: Traffici con la Francia attraverso i principali valichi (fonte: Quaderno 11 Osservatorio Torino - Lione)

I dati relativi al primo semestre 2018, confermano la tendenza all'incremento dei traffici esclusivamente stradali, con una percentuale di incremento rispetto all'anno precedente del 6%. Questo trend risulta evidente nei dati riportati in figura 21, dove viene rappresentata la crescita dei flussi dei mezzi pesanti dal 2013 al primo semestre 2018.

Al 2015 i dati della piattaforma logistica del Nord Ovest restituiscono la condizione visibile in figura 32, nella quale risulta evidente una certa distanza dagli standard europei. In figura 23 invece si evidenziano le differenze nella gestione delle piattaforme sia in termini di orari di operatività, che di tipologia di attività svolte. Dall'analisi dei dati riportati è palese la rilevanza dei traffici che attraversano ogni anno l'Arco Alpino Occidentale, mentre l'assenza di un'infrastruttura ferroviaria adeguata è la causa principale dell'inevitabilmente calo della quota modale ferroviaria a beneficio del trasporto stradale. Tutto questo va in netto contrasto con i principi riportati nel terzo capitolo di questo elaborato, dunque oggi più che mai è fondamentale spingere verso la creazione delle infrastrutture necessarie affinché prenda piede uno split modale rilevante a favore del trasporto ferroviario sull'Arco Alpino Occidentale e non solo. Per il raggiungimento degli obiettivi descritti un ruolo chiave può essere ricoperto dal terminale di Torino Orbassano, sia in ottica presente che futura.

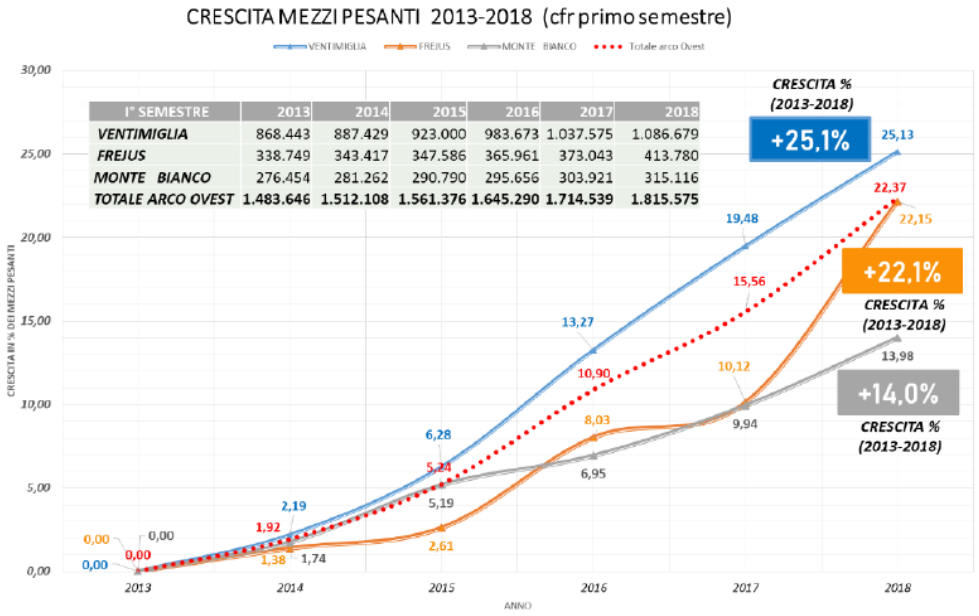


Figura 21: Flussi di mezzi pensanti attraverso i valichi alpini occidentali dal 2013 al primo semestre 2018 (fonte: Quaderno 11 Osservatorio Torino - Lione)

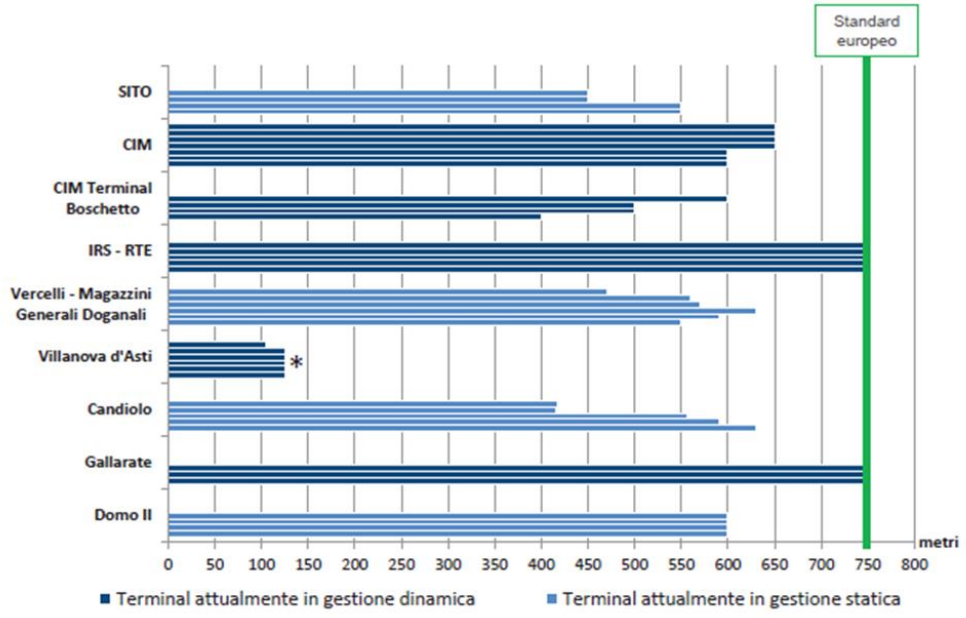


Figura 22: Lunghezza dei binari di carico e scarico (fonte piattaforma logistica del Nord Ovest)

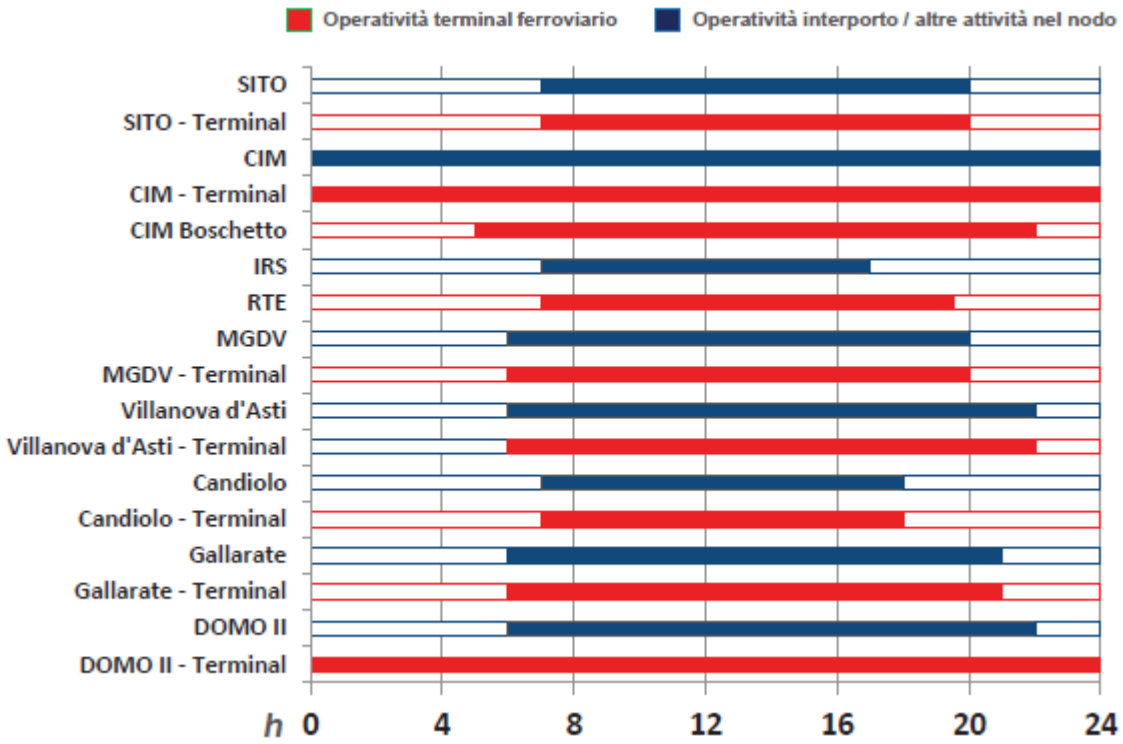


Figura 23: Operatività nodi e terminal ferroviari (fonte: piattaforma logistica del Nord Ovest)

6.3 Scenari di evoluzione e di crescita previsti dall'Osservatorio Torino Lione

Nel Quaderno 11 dell'Osservatorio Torino Lione, redatto nel 2018 si propone un esercizio di simulazione degli andamenti dei futuri flussi di traffico, calcolando quali dimensioni dovrebbero avere al verificarsi di determinate condizioni.

Gli elementi considerati che influiscono sugli scambi sono i seguenti:

- Variazione della produzione;
- Elasticità della domanda.

L'Osservatorio di conseguenza ha ipotizzato in prima istanza tre diversi scenari accumunati da ipotesi di crescita cautelative e poco ottimistiche, con il fine di identificare il limite inferiore della necessità di trasporto:

- Stagnazione permanente, crescita dell'1% al netto della crescita demografica, quindi 0.88% del PIL, con elasticità all'1% e ricorrenti crisi economiche.
- Bassa crescita 1, 1.5% al netto della crescita demografica, quindi 1.3% del PIL, con elasticità all'1% e ricorrenti crisi economiche.
- Bassa crescita 2, quest'ultimo scenario si differenza dal precedente per la presenza di elasticità media, pari quindi all'1.4 %.

L'esito delle simulazioni mostra che nonostante vengano impiegati scenari molto negativi i beni da trasportare a partire dal 2030 saranno certamente più di 50 milioni di tonnellate all'anno, i risultati ottenuti sono schematizzati in tabella 3 ed in figura 24.

SCENARIO	2017	2030	2040	2050	2060
STAGNAZIONE	44,1	50,2	50,1	55,1	55,3
BASSA 1	44,1	53,5	54,8	63	65,1
BASSA 2	44,1	57,8	59,7	72,5	75,9

Tabella 3: Beni da trasportare attraverso il confine francese in termini di milioni di tonnellate per anno (fonte: Quaderno 11 Osservatorio Torino Lione)

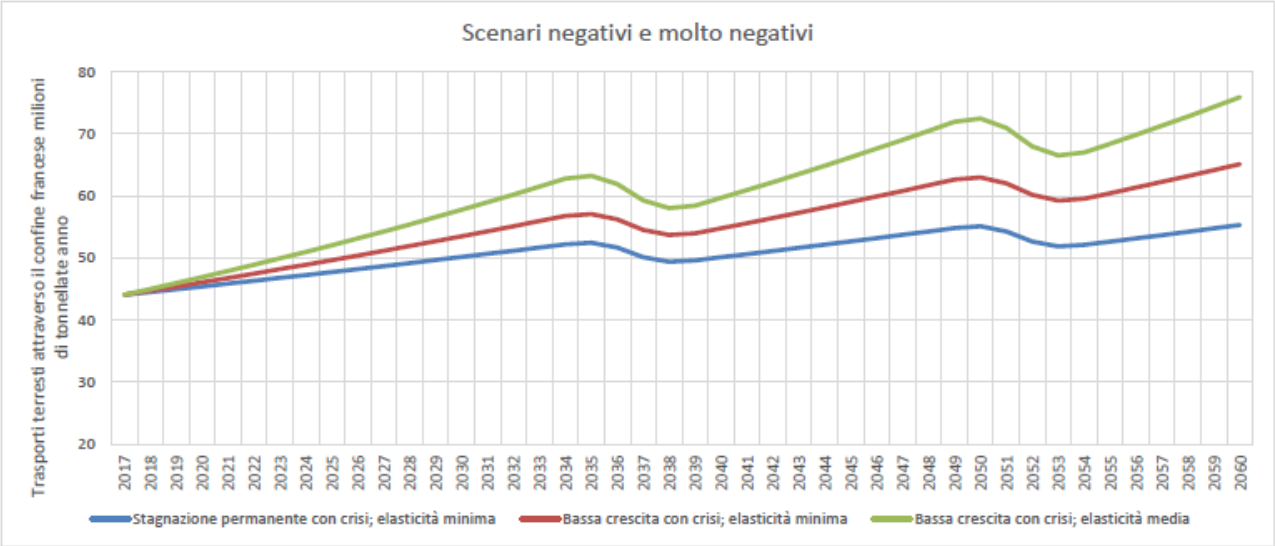


Figura 24: Beni da trasportare attraverso il confine francese in termini di milioni di tonnellate per anno (fonte: Quaderno 11 Osservatorio Torino Lione)

In un secondo momento viene ipotizzato un scenario più coerente con le politiche di sviluppo, il quale considera:

- Maggiore occupazione, con conseguenti incrementi di import ed export;
- Maggiore disponibilità di reddito per le fasce di popolazione più svantaggiate.

Sono stati ricavati in questo modo i valori riportati in tabella 4, dati questi confrontati in figura 25 con lo scenario “Bassa crescita 1”.

SCENARIO	2017	2030	2040	2050	2060
REALISTICO	44,1	61	64,3	81	86,9

Tabella 4: Flussi restituiti dallo Scenario Realistico in termini di milioni di tonnellate trasportate per anno attraverso il confine francese (fonte: Quaderno 11 Osservatorio Torino Lione)

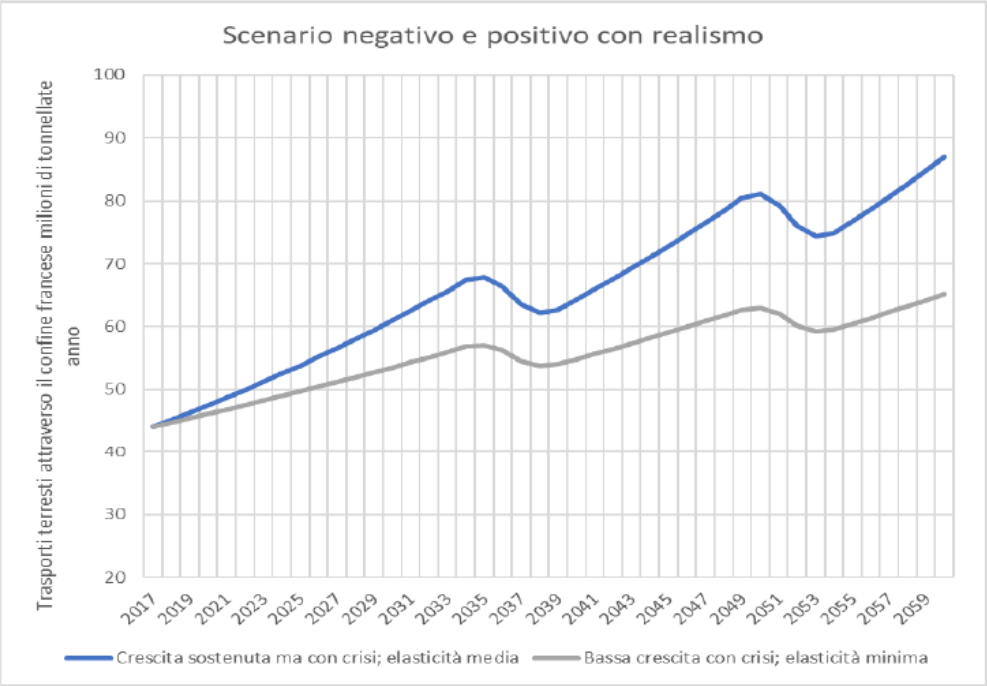


Figura 25: Confronto tra "Scenario realistico" e "Scenario Bassa crescita 1" (fonte: Quaderno 11 Osservatorio Torino Lione)

Dunque l'Osservatorio Torino Lione nel Quaderno 11 prevede per il 2030 flussi terrestri che attraversano l'Arco Alpino Occidentale non inferiori alle 50 milioni di tonnellate di merci trasportate all'anno, valore questo che ancora una volta conferma la necessità di un split modale a favore della ferrovia [16]. Nel Quaderno 15 pubblicato nel maggio del 2019 vengono riportati i trend di traffico e la ripartizione modale sull'Asse Ovest in presenza o meno di una nuova infrastruttura in linea con gli standard europei.

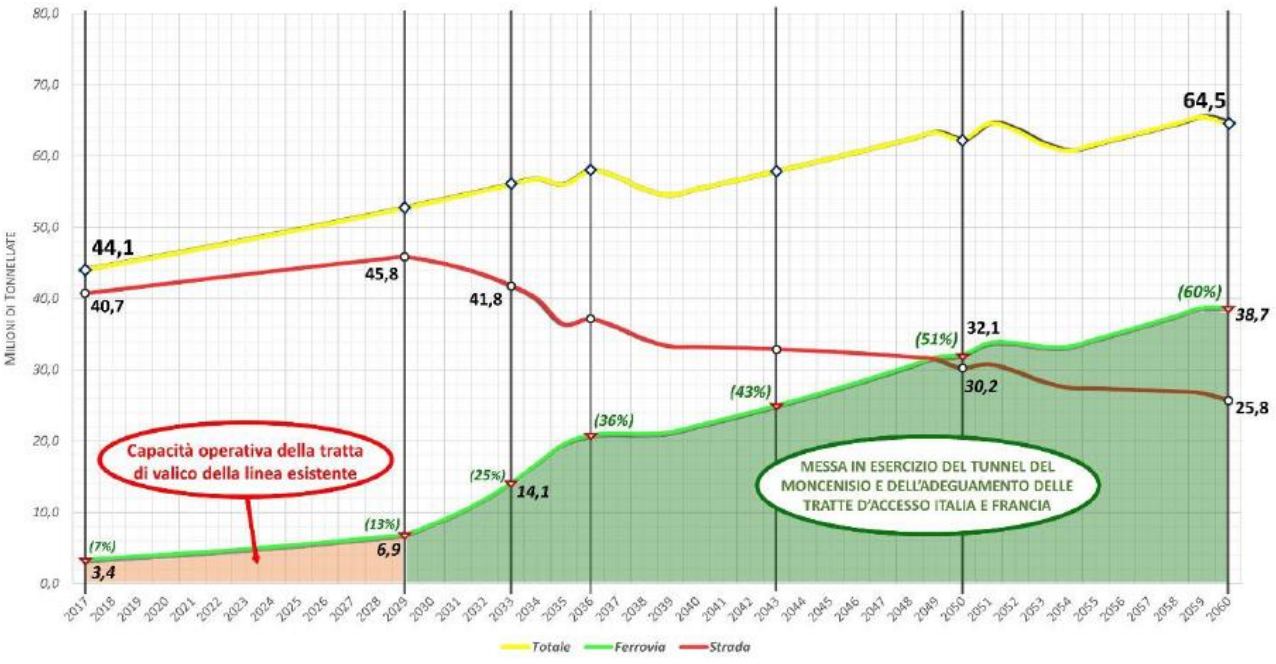


Figura 26: Ripartizione modale in presenza di una nuova infrastruttura (fonte: Quaderno 15 Osservatorio Torino Lione)

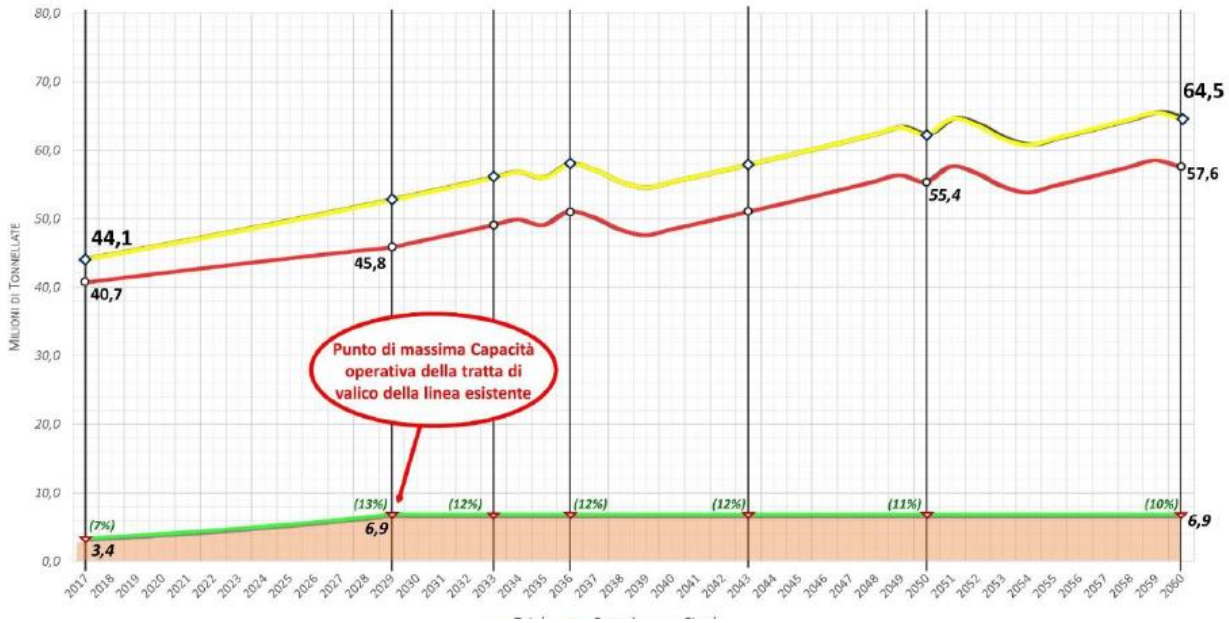


Figura 27: Ripartizione modale in assenza di una nuova infrastruttura (fonte: Quaderno 15 Osservatorio Torino Lione)

6.4 piattaforma di Torino Orbassano

In questo paragrafo si esamina la domanda diretta su Torino Orbassano attraverso l'analisi di due differenti studi: il primo commissionato da RFI nel 2017 [17] ed il secondo eseguito nel 2019 dal Politecnico di Torino e riguardante l'intero sistema ferroviario piemontese [18].

"**FASE II: Studio per la valorizzazione del sistema logistico dell'area Nord Ovest del Paese**".

Il terminale di Torino Orbassano una volta connesso al tracciato della linea AV/AC della Torino – Lione diventerà uno scalo di tipo "passante" con il grande pregio di essere direttamente connesso al sistema autostradale. Seguendo un approccio di ingegneria di sistema, nello studio sono stati identificati tre orizzonti temporali di riferimento:

- Scenario base, corrispondente allo stato di fatto, sulla base del quale è avvenuta la calibrazione e la validazione del modello.
- Breve periodo, ovvero 2022, anno in cui è prevista l'apertura del III Valico dei Giovi.
- Medio periodo, corrispondente al 2030.

Le ipotesi poste alla base del modello sono le seguenti:

- Crescita del trasporto tradizionale e combinato non portuale.
- Crescita del trasporto generato dai porti liguri secondo trend rilevati e verificati con le previsioni di Enti istituzionali come la Cabina di Regia o l'AdSP.
- Ipotesi riguardanti le variabili socio-economiche che condizionano le singole componenti del sistema di modelli di domanda, quindi:

    - Ipotesi di crescita del PIL nazionale, con annessa ipotesi cautelativa sulla crescita, i dati forniti come input nel modello sono schematizzati in figura 28:

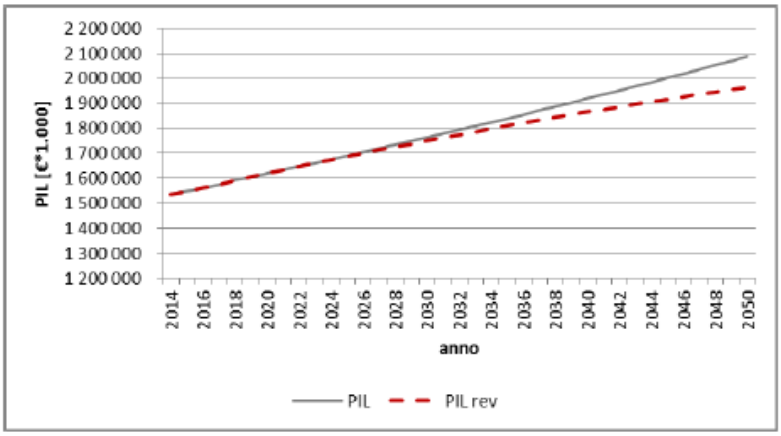


Figura 28: Trend evolutivo del PIL italiano, (fonte: Elaborazione dati Prometeia)

- Ipotesi sulla popolazione, in questo caso i dati Eurostat esaminati evidenziano una crescita con trend tendenzialmente costante fino al 2050 come si evince in figura 29:

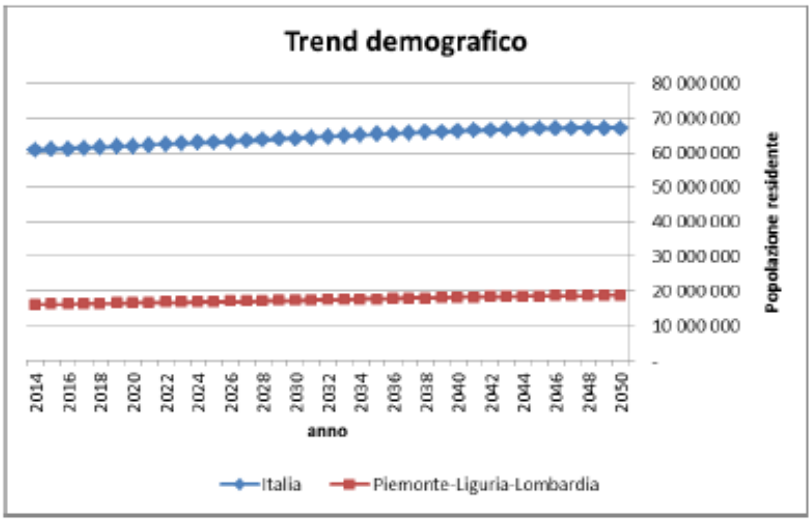


Figura 29: Andamento demografico nazionale e del Nord-Ovest (fonte: Eurostat)

- Ipotesi sui livelli di import/export, anche qui è stato supposto un primo scenario con trend di crescita costante, mentre in un secondo scenario viene introdotto un fattore cautelativo pari a 0.8 dettato dall'eccessiva variabilità dell'economia nel periodo storico in corso.

- Ipotesi poste alla base dei traffici portuali di Vado Ligure, Genova e La Spezia. Nel primo caso è stato preso in considerazione il business plan della piattaforma di Vado, il quale prevede una movimentazione nel breve periodo (2022) di oltre 600.000 TEU's, 100.000 dei quali su ferrovia. Nel 2030 il traffico ferroviario dovrà gestire poco meno di 250.000 TEU's. Per Genova si attendono circa 3 milioni di TEU's nel 2022 e 4 milioni per il 2030. La Spezia invece dovrebbe attestarsi su valori intermedi rispetto a Vado Ligure e Genova, raccogliendo infatti un traffico container pari a 1.5 milioni di unità nel 2022 ed 1.8 milioni nel 2030.

In questa sede viene preso in esame il solo orizzonte temporale di Medio Periodo, ovvero lo Scenario 2030, poiché successivamente trattato approfonditamente in chiave progettuale per Torino Orbassano. In figura 30 vengono riassunti gli interventi di ammodernamento delle reti viaria e ferroviaria del Nord Ovest a partire dallo stato attuale.

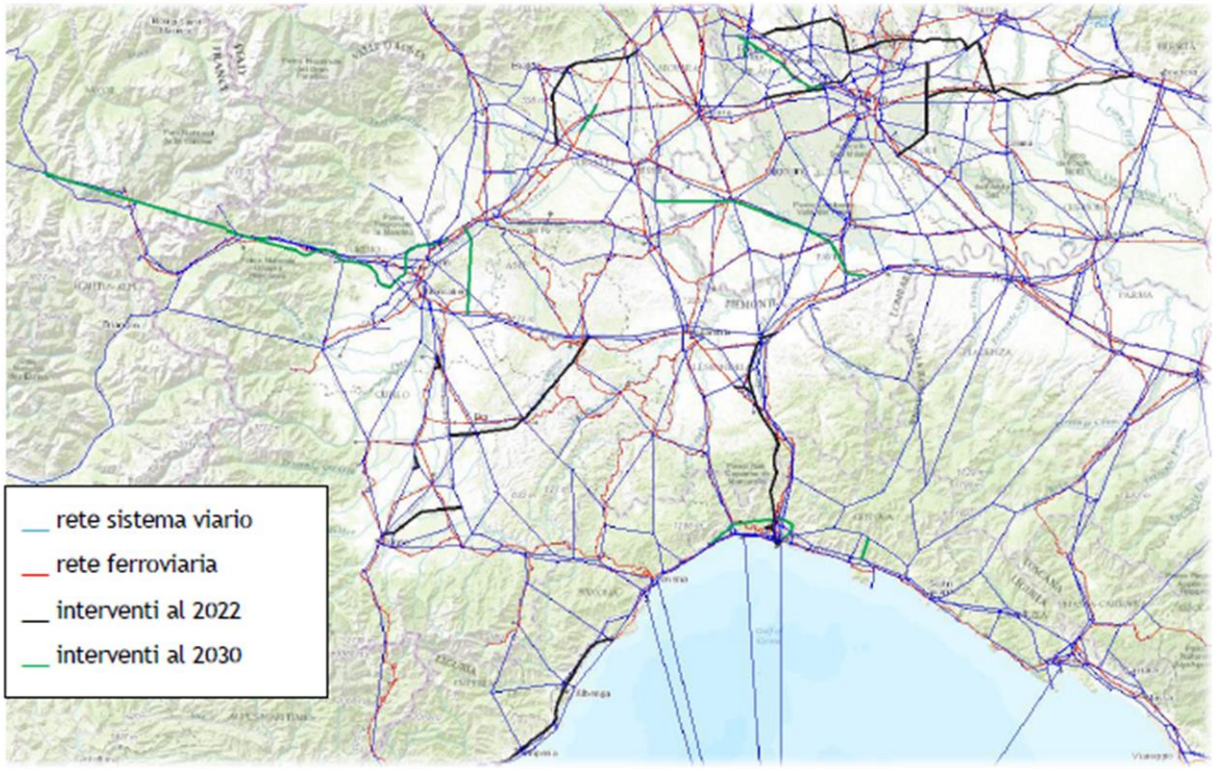


Figura 30: Grafo della rete con principali interventi inerziali infrastrutturali

In riferimento all'orizzonte temporale di Medio Periodo è stata analizzata e confermata l'affidabilità dello Scenario 2022 con ipotesi di attivazione di un terminale hub nell'area oggetto di studio.

In prima istanza il modello restituisce le variazioni cumulate nell'intervallo 2014-2030, valutate sulla domanda totale di trasporto merci, in relazione al trend delle variabili socio-economiche, come rappresentato in tabella 5:

	ZONE INTERNE	RESTANTI ZONE NAZIONALI	ZONE EUROPEE	TOTALE
ZONE INTERNE	8,72%	10,11%	56,05%	13,96%
RESTANTI ZONE NAZIONALI	11,28%	12,46%	56,05%	13,96%
ZONE EUROPEE	54,15%	56,74%	//	55,74%
TOTALE	14,26%	14,48%	56,05%	16,36%

Tabella 5: Variazione domanda totale di trasporto merci

Vengono poi distinti uno "Scenario inerziale", nel quale si ipotizza che vengano realizzati sia i punti economici programmatici che gli interventi strutturali già pianificati con ultimazione prevista entro il 2030 ed uno "Scenario hub", nel quale viene introdotta un'ulteriore variabile identificata con la conversione in hub di un terminale nella zona oggetto di studio, nel caso in questione viene scelto il terminale di Alessandria.

TERMINALE	SCENAIO INERZIALE	SCENARIO HUB	DIFFERENZA
CANDIOLO	408 827 [t/anno]	305 694 [t/anno]	-25%
GALLARATE	11 974 560 [t/anno]	11 776 931 [t/anno]	-2%
MELZO SCALO	2 485 882 [t/anno]	2 483 736 [t/anno]	
MILANO SM.	14 754 760 [t/anno]	14 338 459 [t/anno]	-3%
MORTARA	1 463 870 [t/anno]	1 434 711 [t/anno]	-2%
NOVARA	1 5483 571 [t/anno]	14 477 151 [t/anno]	-6%
RIVALTA	6 307 288 [t/anno]	6 036 084 [t/anno]	-4%
S. STEFANO	947 566 [t/anno]	948 378 [t/anno]	
TORINO ORB	7 934 934 [t/anno]	7 697 414 [t/anno]	-3%
VERCELLI	423 982 [t/anno]	346 665 [t/anno]	
VILLANOVA	265 159 [t/anno]	264 904 [t/anno]	

Tabella 6: Traffico per terminale in termini di ton/anno in arrivo ed in partenza

Lo studio restituisce per il 2030 un traffico annuo per Torino Orbassano che si attesta tra le 7,5 e le 8 milioni di tonnellate di merce movimentata all'anno [17].

"**Effetti su Torino Orbassano derivanti dall'apertura della piattaforma di Vado Ligure**".

Si riporta lo studio del Politecnico di Torino focalizzato principalmente sulla capacità della rete piemontese in funzione dei flussi di traffico attuali e futuri. Anche in questo caso si espongono i risultati ottenuti sullo Scenario 2030, diviso in otto casi, alla base dei quali sono state formulate ipotesi:

- Infrastrutturali, prevedendo il completamento delle seguenti infrastrutture:
  - Linea AV/AC Torino-Lione;
  - III Valico dei Giovi;
  - Apertura della piattaforma di Vado Ligure;
  - Upgrade prestazionale delle linee regionali proprie liguri, piemontesi e lombarde.
- Sull'evoluzione della domanda di traffico merci:
  - Incremento uniforme della domanda.
  - Crescita del flusso sul Corridoio Mediterraneo, che come base raggiungerà un +30% al 2030, quindi una stima di crescita annua al 3%, valori rivedibili al rialzo.
  - Operatività completa del terminal di Vado Ligure, per cui si ipotizza una movimentazione di 800.000 TEU's annui, dei quali il 40% andrebbe su ferrovia, ovvero 320.000 TEU's. Valore convertibile in una forchetta che va dai 15 ai 44 treni/giorno in base alla lunghezza dei convogli.
  - Crescita del flusso sul Corridoio Reno – Alpi grazie alle opere di semplificazione del tracciato (III Valico e Ceneri).
  - Riduzione della capacità disponibile sugli archi della rete competente al nodo metropolitano di Torino.

Derivano dunque le seguenti considerazioni:

- La Linea Storica risulta essere totalmente inadeguata a qualsiasi incremento dei flussi attuali, da qui l'assoluta necessità dell'apertura della linea AV/AC Torino-Lione.
- I traffici derivanti dall'apertura del terminal di Vado Ligure possono dirigersi verso Francia, Svizzera o Austria in proporzioni diverse, dunque è di indubbia importanza approfondire l'impatto che tali traffici possono avere su Torino Orbassano. In questa sede si assume che:

    - La totalità dei traffici diretti verso la Francia passi da Torino Orbassano a causa della saturazione di Ventimiglia.
    - Torino Orbassano funge da retroporto di Vado Ligure.
    - Il valore finale di flusso diretto in Francia è ricavato come media aritmetica dei flussi previsti negli otto scenari descritti in tabella 7.

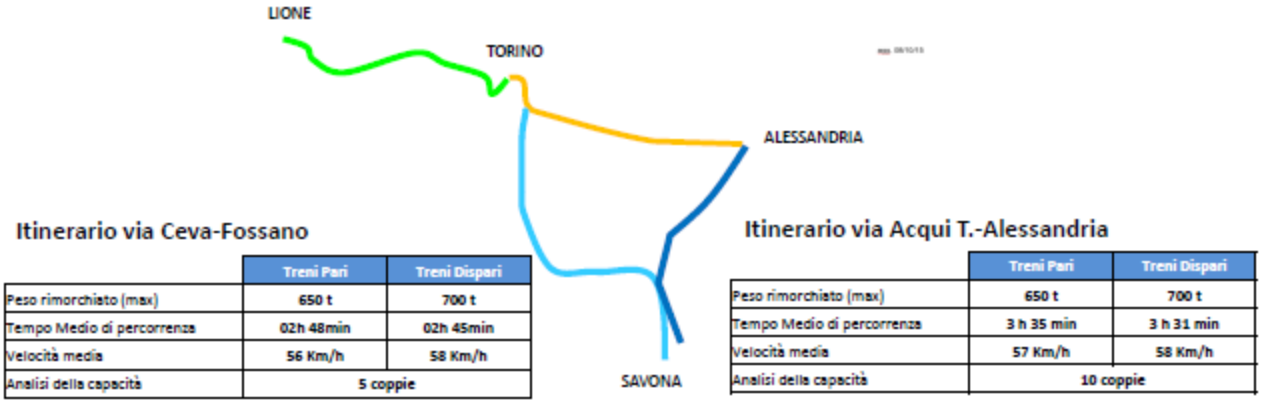
Si specifica inoltre che gli Scenari 1 e 2 si differenziano tra loro per il fatto che nel primo i treni merci non utilizzano la linea AV/AC Torino – Lione, ma la Linea Storica che inevitabilmente va in saturazione. Nel secondo l'attivazione della linea AV/AC Torino – Lione sblocca la Linea Storica non essendo più interessata dal traffico merci.

In conclusione a partire dalle ipotesi fatte e ed esaminando i valori in tabella 7 si ottiene per Torino Orbassano un flusso di 110.000 TEU's anno proveniente dalla piattaforma di Vado Ligure [18].

SCENARIO	AUSTRIA	SVIZZERA	FRANCIA
1	60%	20%	20%
2	60%	20%	20%
3	15%	45%	45%
4	10%	30%	60%
5	10%	60%	30%
6	100%	0%	0%
7	0%	100%	0%
8	0%	0%	100%

Tabella 7: Distribuzioni dei flussi ipotizzate

In figura 31 sono rappresentati i tempi di percorrenza ad oggi della tratta Vado Ligure – Torino Orbassano. Un collegamento efficace è fondamentale per lo sviluppo del terminal di Torino Orbassano data anche la possibilità che esso assuma la funzione di retroporto di Vado Ligure.



	Treni Pari	Treni Dispari
Peso rimorchiato (max)	650 t	700 t
Tempo Medio di percorrenza	02h 48min	02h 45min
Velocità media	56 Km/h	58 Km/h
Analisi della capacità	5 coppie	

	Treni Pari	Treni Dispari
Peso rimorchiato (max)	650 t	700 t
Tempo Medio di percorrenza	3 h 35 min	3 h 31 min
Velocità media	57 Km/h	58 Km/h
Analisi della capacità	10 coppie	

Figura 31: Tempi di percorrenza della tratta Vado Ligure - Torino Orbassano (fonte: Stati Generali della Logistica del Nord Ovest)

Il sistema portuale Genova/Savona ad oggi:

- Rappresenta con circa 70 milioni di tonnellate di merci movimentate la prima realtà italiana del suo genere.
- Copre oltre il 60% del commercio extra UE del commercio economico del Nord Ovest italiano.
- Movimenta il 30% del traffico tra Italia e Cina;
- Genera un terzo del gettito nazionale IVA sulle merci di importazione, ovvero un valore superiore ai 3 miliardi di Euro.
- Crea un valore aggiunto di circa 10 miliardi di Euro distribuito su tutto il territorio nazionale e 120.000 posti di lavoro.

Per poter sfruttare pienamente le enormi potenzialità di questo sistema portuale è di indubbia importanza la realizzazione dell'ultimo miglio sia stradale che ferroviario in modo tale da arrivare come da stime a 140 treni/giorno prodotti partendo dagli attuali 30. In questa direzione vanno anche le norme della cosiddetta "Legge Genova" (130/2018), messa a punto dopo il crollo del Viadotto Morandi, in particolare con il raddoppio del Ferrobonus nazionale sulle relazioni ferroviarie che fanno capo al nodo logistico e portuale genovese. Per l'annualità 2018-19 sono stati previsti fino a 4 euro a treno/km per il sostegno dell'intermodalità sui collegamenti tra il porto di Genova e i siti retroportuali [19].

La piattaforma multipurpose di Vado Ligure è stata realizzata nella rada di Vado tra il terminal Ro-Ro Forship e la foce del torrente Segno ed è in grado di accogliere navi da 14.000 TEU's.

Il nuovo terminal ha le seguenti caratteristiche:

- Lunghezza banchina pari a 700 m con un accosto a 22 m ed un accosto a 15 m.
- 6 gru super postpanama da 23 file.
- Piazzale da 180.000 m^2 attrezzato con:
  - 24 RMG elettriche semi-automatiche;
  - 22 trattori a basso impatto inquinante;
  - 952 allacci refeer.

Figura 32: piattaforma di Vado Ligure in fase di realizzazione (fonte: visita guidata 18/01/19)

6.5 Necessità di un nuovo sistema di infrastrutture

Le infrastrutture esistenti hanno evidenziato criticità importanti sia con i flussi attuali che con i flussi previsti al 2030, in particolar modo il terminale di Torino Orbassano risulta essere inadeguato alle esigenze del trasporto intermodale attuale e futuro, estendendo lo sguardo anche all'ottica 2030.

E' stato evidenziato che la quota modale appartenente al trasporto ferroviario sull'Arco Alpino Occidentale al 2017 è inferiore al 7%, valore bassissimo facendo un confronto con i valichi dell'Arco Alpino Centrale ed Orientale. Al momento dati i limiti infrastrutturali e di gabarit della Linea Storica una soluzione temporanea proposta in questo elaborato per poter aumentare la quota modale ferroviaria per il breve e medio termine è rappresentata dal raddoppio della piattaforma Modalohr. L'AFA ad oggi è lo strumento più efficace per il trasporto merci dirette in Francia, riuscendo a comporre 4-5 coppie di treni giorno, tuttavia un raddoppio della piattaforma non sarebbe la soluzione definitiva, ma una soluzione tampone in attesa dell'apertura della Torino Lione prevista nel 2030. All'interno di questo capitolo è stata avanzata l'ipotesi di trasformare Torino Orbassano in retroporto di Vado Ligure, anche in questo caso l'infrastruttura piemontese risulterebbe ad oggi inadeguata a rivestire questo ruolo sia per la mancanza di adeguate aree di stoccaggio che per gli attuali collegamenti con la Francia. Allargando il raggio ed estendendo le considerazioni a tutto l'Arco Alpino Occidentale è impensabile sperare di raggiungere i valori richiesti dal Libro Bianco dei Trasporti usufruendo di Ventimiglia che rasenta la saturazione e della sola Linea Storica, sia per la potenzialità odierna dalla stessa che per la potenzialità futura che potrebbe derivare da ulteriori lavori di potenziamento. E' stato già dimostrato che durante la realizzazione dei lavori di potenziamento avvenuti dal 2002 al 2012 la Linea Storica ha visto ridurre i flussi, passando infatti da 8.6 milioni di tonnellate all'anno a circa 3.4 milioni. Il trend successivamente non si è mai invertito, anzi il 2017 restituisce flussi pari a 2.7 milioni di tonnellate, questo fa comprendere come sia facile perdere flussi e allo stesso tempo sia complesso riconquistare traffico soprattutto quando a breve distanza si hanno infrastrutture più competitive e moderne.

7. Criteri di progettazione di un terminal intermodale

Per la stesura di questo capitolo è stato preso come riferimento il lavoro di tesi di Alessandro Carmine De Paola, studente Laureando del Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile.

Questo capitolo è stato elaborato a partire dal testo "Interporti e terminali intermodali" [20].

7.1 Condizioni territoriali e requisiti costitutivi

Primo requisito che favorisce la nascita di un terminal intermodale è una collocazione prossima a bacini che generano una rilevante domanda di trasporto. Naturalmente tutto ciò richiede un insieme di servizi annessi, per le persone, per i veicoli e per le imprese, nonché la presenza di reti di comunicazione, al fine di connettere i vari operatori di trasporto con i differenti attori della catena logistica e monitorare lo spostamento delle merci. A partire da queste considerazioni si desume che una rete di infrastrutture adeguate a corredo della piattaforma intermodale è fondamentale.

7.2 Valutazione impatto ambientale in fase progettuale

Con riferimento agli obiettivi in tema di ambiente, le due aree di intervento principali per il settore dei trasporti sono:

- La razionalizzazione del sistema della mobilità, realizzabile attraverso la realizzazione di un trasporto che tende sempre più verso l'intermodalità;
- Miglioramento dell'efficienza del parco veicolare ed introduzione di nuovi carburanti, dunque una forte spinta tecnologica finalizzata alla riduzione delle emissioni climalteranti.

La Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) affonda le sue radici nella normativa comunitaria. La direttiva CEE 85/337 del 27/6/85, la successiva 97/11 Del 3/3/97, la norma di recepimento italiana DPCM 10/8/88 n.377 integrata dal DPR 11/2/98 e dal DPR 2/9/99 n. 348, elencano le grandi opere pubbliche da sottoporre ad una VIA. Il DPCM 3/9/99 sancisce che la VIA deve essere focalizzata sull'analisi di nove componenti ambientali [21]:

- Atmosfera;
- Ambiente idrico;
- Suolo e sottosuolo;
- Vegetazione, flora e fauna;
- Ecosistemi;
- Salute pubblica;
- Rumore e vibrazioni;
- Radiazioni ionizzanti;
- Paesaggio.

In un terminal intermodale bisogna dedicare delle aree al verde, le quali dipendono generalmente dagli strumenti urbanistici di riferimento. Una progettazione attenta al verde, arriva indicativamente a coinvolgere, tra aree destinate alla viabilità interna, piazzole ed aree verdi propriamente dette, circa un terzo dell'intera superficie interportuale.

7.3 Requisiti progettuali

Volendo fare un'analisi dei terminali intermodali storici è possibile classificarli in base alla loro estensione in tre categorie:

- **Terminal di piccole dimensioni**, al loro interno generalmente opera una gru semovente con portata superiore a 30 tonnellate, dotata di spreader telescopico. La superficie indicativa totale varia tra i 10.000 ed i 15.000 m^2, la lunghezza dei binari operativi si attesta sui 250 m e la potenzialità di trasbordo giornaliera oscilla tra le 70 e le 80 UTI al giorno.
- **Terminal di medie dimensioni**, in questo caso si possono trovare uno o due gru semoventi con portate comprese tra le 35 e le 40 tonnellate, altrimenti gru a portale al servizio di 2 o 3 binari operativi, oltre ad un carrello semovente della portata di 20 tonnellate. Le superfici indicative vanno dai 40.000 ai 50.000 m^2, i binari operativi presentano lunghezze non inferiori ai 400 m e sono presenti fabbricati per gli uffici. La potenzialità di trasbordo giornaliera è compresa tra le 140 e le 150 UTI.
- **Terminal di grosse dimensioni**, si adopera generalmente come mezzo di movimentazione una gru a portale in grado di servire 4 binari operativi, una gru a portale che ne può servire due ed una o due gru semoventi con portate comprese tra le 30 e le 35 tonnellate, con funzione ausiliaria ed integrativa. In tal caso è prevista anche una capacità di deposito pari almeno a 2000 container. All'interno del terminal sono presenti uffici ed aree doganali. La superficie indicativa del terminal è maggiore a 70.000 m^2 e i binari operativi hanno lunghezze non inferiori ai 550 m. La potenzialità di trasbordo giornaliera è superiore alle 250 UTI.

La progettazione attuale di un terminale intermodale deve soddisfare i seguenti requisiti:

- Lunghezza minima dei binari operativi (rettilinei) pari a 700 metri;
- Presenza di almeno 2 binari operativi;
- Coefficiente di dotazione infrastrutturale minimo pari a 30 m^2 ogni m di binario operativo.
- Superficie minima richiesta 42.000 m2;
- In assenza di dati precisi si richiede una produttività minima in condizioni statiche di 143 UTI al giorno, considerando un arco lavorativo di 270 giornate all'anno, quindi circa 39.000 UTI all'anno;
- Sagoma a pieno carico UIC C;
- Interasse minimo tra i binari pari a 4.2 metri;
- Carico per asse massimo ammesso pari a: 22.5 tonnellate con vagoni che possono viaggiare fino a 100 km/h e a 20 tonnellate con vagoni che raggiungono al massimo i 120 km/h;
- Lunghezza utile minima dei binari di stazionamento pari a 750 metri;
- Massimo gradiente uguale a 12.5 mm/m.

Prendendo in considerazione il dimensionamento di un terminal gateway, servito con gru a portale ci si riferisce ai seguenti requisiti:

- Interasse tra i binari pari a 4.6 metri;
- Distanza minima tra il bordo interno del portale e l'asse del binario uguale a 2.7 metri;
- Larghezza minima delle corsie di stoccaggio dei container/casse mobili non inferiore a 2.5/2.6 metri;

- Larghezza delle corsie di scorrimento per i veicoli stradali pari a 3.5 metri;
- Larghezza delle corsie di trasbordo rettilinee per i veicoli stradali pari a 3.5 metri;
- Diametro dello spazio per eseguire una manovra di inversione non inferiore a 30 metri;
- Larghezza del marciapiede pedonale pari a 2 metri;

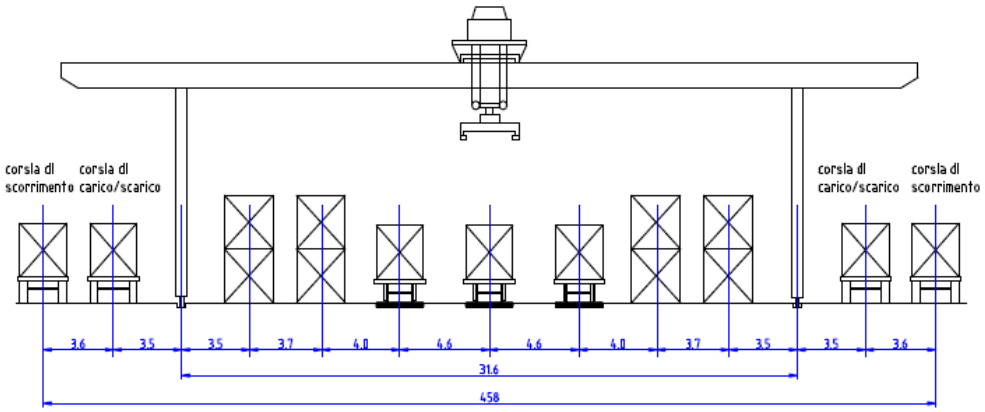


Figura 33: Schematizzazione dimensioni terminal gateway (fonte slide TET 2018)

L'approccio al giorno d'oggi più attuato per eseguire la progettazione di un terminal intermodale prevede come primo passaggio l'esecuzione di un'attenta analisi della domanda di trasporto. A domanda acquisita si esegue il dimensionamento del numero di binari operativi ed in base al loro numero vengono definite tutte le infrastrutture circostanti. Per la scelta dei mezzi di movimentazione si devono quantificare invece i seguenti parametri:

- Ore di attività al giorno;
- Prestazioni dei mezzi stessi;
- Numero di passaggi a terra delle UTI;
- Coefficiente di operatività, ovvero il parametro che tiene conto della riduzione di operatività dei mezzi dovuta a fattori non controllabili..

7.4 Potenzialità

Con potenzialità del terminal s'intende il numero di UC o di UTI che è possibile movimentare nell'arco di un determinato periodo di tempo. Si può fare riferimento alla potenzialità giornaliera, settimanale o più comunemente si parla di potenzialità annua. In generale la potenzialità viene influenzata: dalle caratteristiche dell'infrastruttura, dalla tipologia degli impianti a servizio del terminale intermodale e dalle caratteristiche operative e di gestione.

Entrando nel dettaglio si definiscono:

- Numero e capacità dei gate d'ingresso, ovvero i luoghi dove si effettua il check-in e dove vengono assunte tutte le informazioni che poi serviranno all'organizzazione del lavoro dei conducenti dei veicoli stradali, degli operatori gru e del centro operativo di coordinamento del terminal.
- Tipologia dei mezzi di trasbordo e di movimentazione, è scontato come il variare della tipologia di mezzi di movimentazione modifica sostanzialmente l'entità dei tempi ciclo. Al contempo un

fattore molto incidente sulla potenzialità è l'abilità degli operatori gru, e la loro confidenza con il mezzo. Operatori più esperti ed abili permettono di ottenere tempi ciclo minori.

- Fattore di contemporaneità del servizio, trattasi di un indice che descrive la rispondenza tra offerta e domanda.
- Aree disponibili per il deposito delle UTI.
- Modalità di gestione dei contenitori vuoti.
- Coefficiente di efficienza globale del terminal, ovvero il rapporto tra UTI effettivamente movimentate e quelle teoricamente movimentabili. Naturalmente si otterrà sempre un valore minore di 1.
- Regime di gestione del terminale: gestione statica o gestione dinamica.

7.5 Capacità di deposito

Si misura come il volume di UTI che può essere stoccato in un determinato intervallo di tempo, come avviene anche per la potenzialità ci si riferisce al giorno, al mese o all'anno. Quando si determina la capacità di stoccaggio di un terminal bisogna tenere in conto che il livello ottimale di prestazione dello stesso non viene raggiunto se lo stoccaggio giunge a saturazione. Tendenzialmente si cerca di lavorare con valori pari al 60-65% della capacità massima di stoccaggio.

La capacità di un terminal (C) viene quantificata attraverso l'espressione di Sartor (1997).

$$C = \frac{a \cdot h \cdot s \cdot d}{g \cdot p}$$

Dove:

- a = area destinata allo stoccaggio delle UTI espressa in metri quadri, divisa l'area della singola UTI, espressa a sua volta in metri quadri;
- h = grado medio di sovrapposizione, ovvero l'altezza media di impilaggio;
- s = coefficiente di sottoutilizzo dell'area di stoccaggio, trattasi di un margine programmato di spazio vuoto da mettere in preventivo onde evitare una diminuzione di efficienza operativa in prossimità della saturazione;
- g = tempo di sosta medio di sosta dei singoli contenitori nel terminal, viene espresso in giorni;
- p = fattore di picco dei flussi di contenitori nel terminale, funge da misura degli eccessi di volume di container, rapportata al loro flusso medio in un determinato periodo, valore percentuale;
- d = numero di giorni del periodo esaminato.

Un ulteriore considerazione può essere effettuata sull'occupazione delle postazioni disponibili, quindi a partire dalle grandezze definite si ricava il livello medio di occupazione (L_o):

$$L_o = \frac{s}{p}$$

8. Progetto piattaforma logistica di Torino Orbassano

Per la stesura di questo capitolo è stato preso come riferimento il lavoro di tesi di Alessandro Carmine De Paola, studente Laureando del Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile.

8.1 Identificazione criticità

La piattaforma logistica di Torino-Orbassano funge da punto di partenza per le merci dirette in Francia e che percorrono la Linea Storica. Le limitazioni che quest'ultima impone hanno inevitabilmente segnato il destino del terminale torinese. La fisionomia del luogo è profondamente segnata dei resti della sella di lancio, oramai dismessa, la quale occupava l'intero settore meridionale della piattaforma logistica. In questa sede si è ritenuto opportuno effettuare la seguente classificazione delle criticità riscontrate e dei relativi interventi suggeriti, i quali verranno illustrati nel dettaglio nei paragrafi 8.2.2 ed 8.3.2 di questo capitolo:

- **Criticità ambientali**, la piattaforma racchiude al suo interno vaste aree occupate da binari dismessi e materiale rotabile abbandonato, derivante dal centro di smistamento dismesso. La bonifica delle suddette zone non è mai stata completata, dunque si ritiene opportuno innanzitutto eseguire un'importante operazione di risanamento, mettendo in preventivo in sede di progettazione spazi da destinare al verde, come previsto da normativa.
- **Criticità infrastrutturali di stampo stradale**, nonostante la piattaforma sia direttamente collegata alla tangenziale di Torino e quindi alla rete autostradale nazionale la viabilità interna non è fluida a causa della presenza di una serie di raccordi chiusi al traffico. Strada del Portone funge da esempio in tal senso, essa teoricamente costituirebbe una valido collegamento tra il CAAT ed il settore dedicato all'AFA, ma ad oggi è impraticabile. La stessa problematica si riscontra all'uscita del sottopasso che collega Strada del Portone al termovalorizzatore di Torino. In virtù di ciò si suggerisce la riqualificazione di tutte le infrastrutture stradali esistenti.
- **Criticità infrastrutturali di stampo ferroviario: binari operativi**, la limitata lunghezza dei binari operativi a disposizione di: SITO, Terminali Italia e DB Schenker, si converte inevitabilmente in convogli di dimensioni ridotte. Discorso diverso va fatto con l'AFA, poiché per sua stessa natura richiede la presenza di un binario attrezzato con tecnologia Modalohr e quindi con schema di funzionamento diverso rispetto a quello adottato dagli altri operatori. Si propone dunque l'allungamento dei binari operativi a disposizione delle realtà presenti, fino a lunghezze comprese tra i 700 ed i 750 metri, eccezion fatta per Modalohr. In questo modo potrebbero essere serviti convogli composti anche da 35 carri, i quali naturalmente non potrebbero usufruire della Linea Storica, ma costituirebbero un servizio al momento non presente all'interno della piattaforma, in linea con le direttive europee e sfruttabile sulle linee attrezzate.
- **Criticità infrastrutturali di stampo ferroviario: raccordi interni alla piattaforma logistica**, i collegamenti ferroviari tra le varie macroaree della piattaforma logistica risultano spesso insufficienti o precari. Emblematico in tal senso è il collo di bottiglia posto in corrispondenza della connessione tra SITO ed il fascio dogana. Esso è rappresentato da un binario unico posto su un viadotto che attraversa la tangenziale. In presenza di situazioni di emergenza, come svii, manutenzioni straordinarie, l'attività lavorativa risulta totalmente compromessa.
    - In questo caso si suggerisce di considerare la possibilità di instaurare un servizio navetta che SITO può sfruttare appunto nelle situazioni di emergenza. Naturalmente in tal caso la formazione di convogli è da contemplare in altre realtà della piattaforma. Un'altra condizione da portare all'attenzione è l'assoluta assenza di collegamenti ferroviari tra

il CAAT ed le altre macroaree della piattaforma, quindi si consiglia di introdurre un raccordo ferroviario che connetta il CAAT con le infrastrutture di SITO.

- **Criticità infrastrutturali da colmare per soddisfare gli obiettivi europei ambientali di breve termine**, ad oggi l'Arco Alpino Occidentale vede movimentare poco meno del 7% della merce che lo attraversa su rotaia. La Linea Storica consente il passaggio dei semirimorchi solo mediante l'utilizzo della tecnologia Modalohr, la quale ad oggi per mezzo dell'AFA serve 4-5 coppie di treni al giorno. I semirimorchi costituiscono una fetta di mercato importante e molto appetibile, dunque in questa sede si consiglia un raddoppio della piattaforma Modalohr, da realizzare quanto prima. Inoltre è fortemente raccomandata la possibilità di dar vita ad un servizio cadenzato tra la piattaforma di Torino-Orbassano e la piattaforma di Perpignan, attingendo dunque al mercato iberico. Ciò andrebbe ad aggiungersi ai servizi già presenti con le piattaforme di Aiton e Calais.
- **Criticità infrastrutturali da superare per affrontare i traffici previsti dall'analisi della domanda di trasporto al 2030**, gli studi riportati nel sesto capitolo di questo elaborato evidenziano come al 2030 la piattaforma logistica di Torino-Orbassano si troverà a gestire presumibilmente 7.5-8 milioni di tonnellate di merce all'anno. All'interno di queste cifre si ricorda che il solo porto di Vado Ligure dirotterà verosimilmente su Torino-Orbassano circa 110.000 TEU's all'anno. Le infrastrutture attuali non consentono la gestione di questi numeri, dunque è necessario ripensare interamente la logica di funzionamento della piattaforma logistica. In questa sede si suggerisce la realizzazione al 2030 di un terminale con funzione gateway, servito da 2 gru a portale disposte in serie, le quali effettueranno le loro operazioni su 4 binari operativi. Questo tipo di terminale da solo sarebbe in grado movimentare 2.5 milioni di tonnellate di merce all'anno, fornendo un importante aiuto alla gestione dei flussi dell'intera piattaforma.

8.2 Fase 1 (2022)

8.2.1 Scenario RFI in fase di realizzazione

Una riqualificazione della piattaforma logistica di Torino-Orbassano fa parte della strategia di investimenti di RFI per il breve e medio periodo. Ciò è emerso dagli incontri effettuati durante la stesura di questo elaborato e dal materiale fornito da per la redazione dello stesso, dunque si è scelto di non modificare l'impianto di interventi in preventivo per il 2022 ed implementare gli stessi con ulteriori misure. Vengono quindi riportate le opere previste al 2022 da RFI:

- **Fermata Orbassano San Luigi**, a servizio dell'Azienda ospedaliera-universitaria San Luigi Gonzaga. La fermata sarà parte integrante della linea SFM5, anch'essa in dirittura di completamento entro il 2022. A contorno della stazione sono stati progettati: un sottopassaggio di attraversamento dei binari ed in prossimità dell'ospedale, un parcheggio a servizio della fermata. A pieno regime il SFM5 garantirà un treno ogni mezzora da e per Torino, con capolinea rappresentato dalla stazione di Porta Susa.

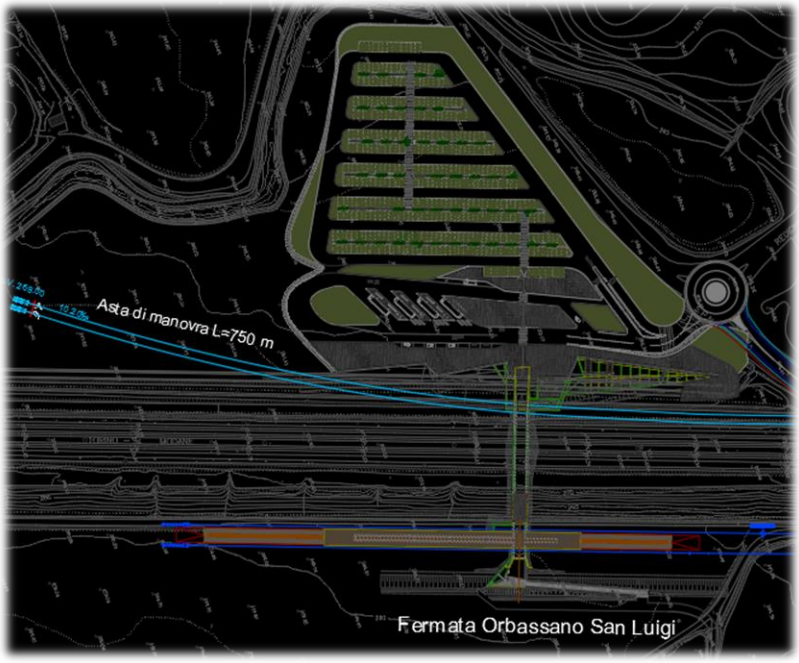


Figura 34: Estrapolazione dal file Autocad del progetto della fermata Orbassano San Luigi

- **Adeguamenti delle infrastrutture ferroviarie a servizio di Terminali Italia e DB Schenker**, viene proposto l'allungamento dei binari operativi fino al raggiungimento di moduli compresi tra i 630 ed i 750 metri. A servizio degli stessi è prevista la realizzazione di piazzali per la movimentazione delle gru semoventi frontali, con larghezze minime atte a garantire la possibilità di manovra dei mezzi pari a 30 m. Inoltre è stata preventivata la realizzazione di 4 binari destinati alla sosta ed alla manutenzione dei locomotori, i quali si aggiungono ai 3 già esistenti. Infine si prevede la realizzazione di due aste di manovra della lunghezza di 750 metri.
- **Adeguamento delle infrastrutture ferroviarie appartenenti al fascio dogana**, gli 8 binari a servizio del fascio dogana vengono allungati in modo tale da raggiungere lunghezze comprese tra i 645 ed i 750 metri. Inoltre in parallelo si prevede la realizzazione di un'area con funzioni di manutenzione del materiale rotabile.
- **Implementazione delle infrastrutture a servizio di AFA**, per migliorare la fruibilità dell'Autostrada Ferroviaria Alpina RFI ha ipotizzato la realizzazione di 35 stalli di dimensioni 20 x 5 metri, in adiacenza della piattaforma Modalohr e l'introduzione di un binario di appoggio, della lunghezza di 700 metri che si sviluppa parallelamente al fascio dogana. Quest'ultimo è direttamente collegato al binario operativo della piattaforma sia all'ingresso che all'uscita della stessa.

8.2.2 Scenario di progetto

Come anticipato, in questa sede si è scelto di irrobustire le azioni previste da RFI, vengono dunque riportate le infrastrutture e gli interventi che costituiscono lo studio di fattibilità alla base di questo elaborato di tesi:

- piattaforma Modalohr 2;
- Rete stradale a servizio dell'AFA;
- Parcheggio destinato alla piattaforma intermodale;
- Parco fotovoltaico 1;
- Parco fotovoltaico 2;
- Area deposito container a servizio di Terminali Italia e DB Schenker;
- Aree destinate al verde;
- Introduzione di un servizio navetta tra il termovalorizzatore e SITO;
- Area destinata a parcheggi muniti di colonnine di ricarica per i mezzi elettrici.

piattaforma Modalohr 2, la piattaforma attuale presenta una lunghezza di 510 metri e 30 postazioni per il carico/scarico dei semirimorchi. Essi prima di poter accedere al piazzale operativo devono essere sottoposti a verifiche di gabarit e di massa massima trasportata, le quali vengono eseguite in apposite strutture situate all'ingresso della piattaforma. All'uscita delle strutture di controllo si trovano gli uffici dell'AFA. In questo elaborato si è deciso di inserire una seconda piattaforma parallela alla prima, caratterizzata da un binario operativo di lunghezza pari a 510 metri al servizio di 30 postazioni per il carico/scarico dei semirimorchi. Dato che si è scelto di separare gli accessi per Modalohr 1 e Modalohr 2, si è predisposta una seconda postazione per le verifiche di gabarit e di massa trasportata dai semirimorchi. Gli assi dei binari delle due piattaforme vengono progettati ad una distanza di 120 metri, in modo tale da avere circa 52.000 m^2 di area libera tra le due infrastrutture. Questo spazio è stato sfruttato per la realizzazione di 114 stalli di dimensioni 20 x 5 metri, dedicati alla sosta dei mezzi in attesa del carico/scarico, utilizzabili sia da Modalohr 1 che da Modalohr 2 e per la ricollocazione di 21 parcheggi di dimensioni 4.8 x 2.4 metri a servizio dei dipendenti di AFA.

Nella progettazione degli stalli, per assicurare manovre agevoli e sicure, sono state garantite distanze di manovra ben maggiori di quelle richieste dai franchi minimi:

- Dallo stallo 1 allo stallo 12 (disposizione a spina di pesce a 45°), franco minimo da garantire pari ad 8 metri, franco offerto 30 metri.
- Dallo stallo 13 allo stallo 37 (disposizione ortogonale all'asse stradale), franco minimo da garantire pari a 15 metri, franco offerto 20 metri.
- Dallo stallo 38 allo stallo 46 (disposizione parallela all'asse stradale, fungono da supporto).
- Dallo stallo 47 allo stallo 114 (disposizione a spina di pesce a 45°), franco minimo da garantire pari ad 8 metri, franco offerto 20 metri.

E' previsto il collegamento tra le due piattaforme mediante viabilità interna, la progettazione della stessa ha seguito le stesse modalità adottate dai progettisti della piattaforma Modalohr 1, prevedendo dunque strada a carreggiata singola con una corsia per senso di marcia ed assenza di banchina. Le corsie presentano larghezza pari a 3.25 metri. Un esempio di sezione stradale adottata per la realizzazione della viabilità interna è presente in figura 35:

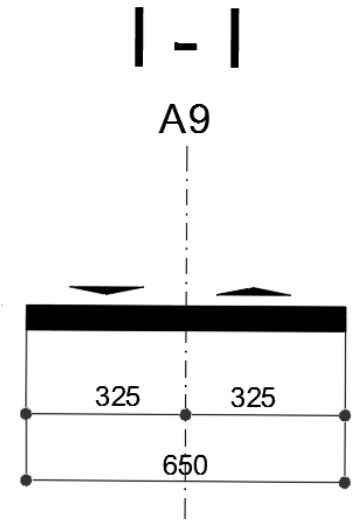


Figura 35: Esempio sezione stradale utilizzata per la viabilità interna Modalohr 2, misure in cm

Le intersezioni tra viabilità interna o esterna e binari delle piattaforma Modalohr 1 e Modalohr 2 sono previste in punti lontani dai luoghi dove si effettuano operazioni di manovra e di carico/scarico, in modo tale da ridurre al minimo le interferenze ed i tempi ciclo.

Viene predisposto un piazzale di sicurezza di 2.000 m^2, al suo interno è possibile effettuare il ricovero dei mezzi in panne o organizzare le operazioni di soccorso in caso di emergenza.

Esaminando le prestazioni attuali dell'AFA e prendendo in considerazione le ragioni citate in questo capitolo, si ritiene che insieme Modalohr 1 e Modalohr 2, a pieno regime siano in grado di servire in maniera efficiente 8 coppie di treni al giorno, raddoppiando i numeri attuali.

Rete stradale a servizio dell'AFA, si è scelto di modificare sostanzialmente la viabilità di accesso all'Autostrada Ferroviaria Alpina. Questo mediante la realizzazione delle seguenti opere:

- Accesso diretto da chi proviene dalla tangenziale con svolta a destra su Strada del Portone, ne deriva una riorganizzazione totale della sezione stradale. Direzione Sud-Est: due corsie di larghezza pari a 3.5 metri, una delle quali con funzione esclusiva di svolta a destra, banchina di larghezza pari ad un metro. Direzione Nord-Ovest: una corsia di larghezza pari a 3.5 metri e banchina di larghezza pari ad un metro. Quanto descritto è rappresentato in figura 36:

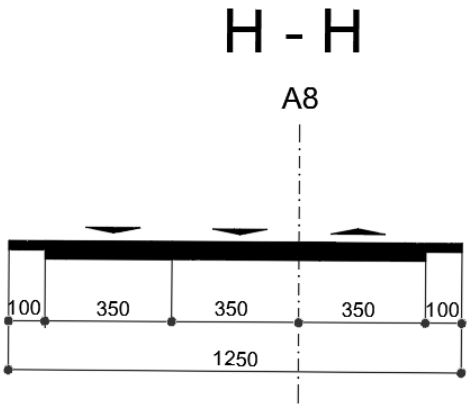


Figura 36: Esempio sezione stradale utilizzata per accesso ad AFA dalla tangenziale, misure in cm

- Intersezione che consente la svolta a destra a chi proviene dalla tangenziale, all'interno dell'intersezione viene garantita una larghezza minima delle corsie pari a 3.5 metri. La scelta progettuale adottata è rappresentata in figura 37, nella stessa figura inoltre è possibile notare il punto in cui è stata ricavata la sezione H-H precedentemente descritta.

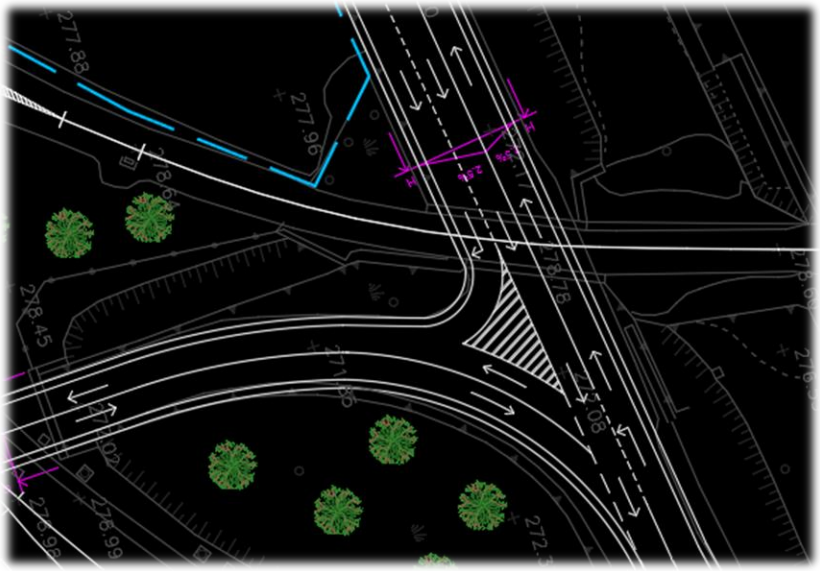


Figura 37: Estratto Autocad dell'intersezione e della riorganizzazione di Strada del Portone

- Collegamento stradale tra rotatoria d'ingresso AFA e Strada del Portone, viene progettato un collegamento stradale lungo circa 170 metri di categoria F2, ovvero carreggiata unica, singola corsia per senso di marcia di larghezza pari a 3.25 metri e banchina larga un metro, come rappresentato in figura 38:

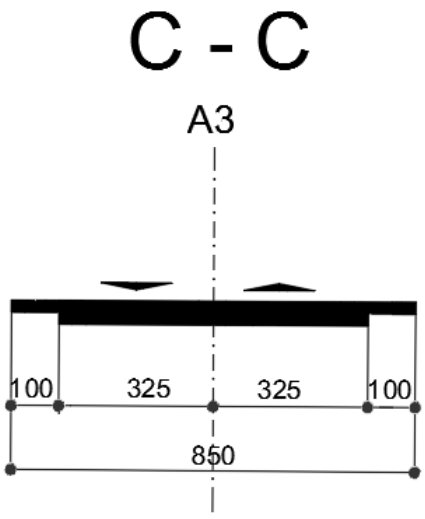


Figura 38: Esempio sezione stradale utilizzata per il collegamento all'AFA, misure in cm

Per la realizzazione dei collegamenti sono stati rispettati i seguenti criteri riportati nel DM. 6792 del 2001 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti:

CATEGORIA	AMBITO	LIMITE V [km/h]	n° CORSIE	Vp inf [km/h]	Vp sup [km/h]
F1	EXTRAURBANO	90	1	40	100
F2	EXTRAURBANO	90	1	40	100

Tabella 8: Imposizioni in termini di velocità

CATEGORIA	AMBITO	LARGHEZZA min CORSIA [m]	LARGHEZZA min BANCHINA [m]
F1	EXTRAURBANO	3,5	1
F2	EXTRAURBANO	3,25	1

Tabella 9: Imposizioni sulla larghezza degli elementi della carreggiata

CATEGORIA	AMBITO	LIVELLO DI SERVIZIO	PORTATA DI SERVIZIO
F1	EXTRAURBANO	C	450 autov.eq/ora
F2	EXTRAURBANO	C	450 autov.eq/ora

Tabella 10: Imposizioni sui livelli di servizio

Un rettifilo per essere percepito come tale dall'utente, deve avere valori di lunghezza non inferiori ai limiti stabiliti da normativa. In questo caso adottando valori di velocità di progetto pari a 40 km/h, bisogna superare i 30 metri, il collegamento in questione vanta un rettilineo di lunghezza pari a 116 metri.

- Rotatoria per la gestione dei flussi in entrata ed in uscita da Modalohr 1 e da Modalohr 2, poiché si hanno due accessi si è deciso di regolamentare i flussi in ingresso, provenienti da Strada del Portone e quelli in uscita, diretti appunto verso Strada del Portone, ricorrendo all'utilizzo di una rotatoria. Essa è rappresentata in pianta in figura 40, mentre una sua sezione è schematizzata in figura 39:

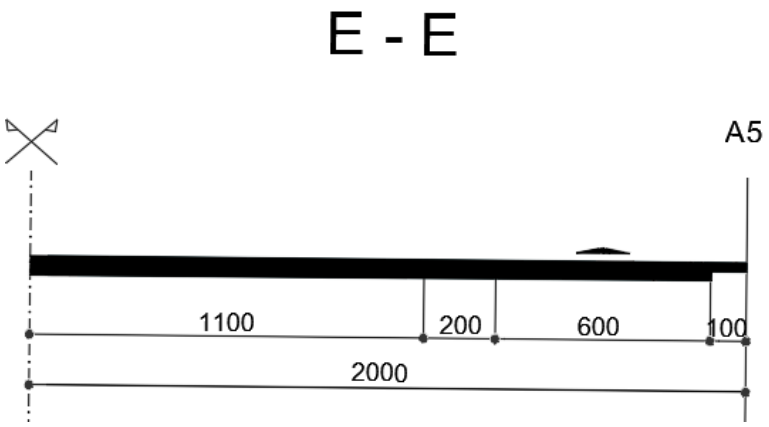


Figura 39: Esempio sezione della rotatoria, misure in cm

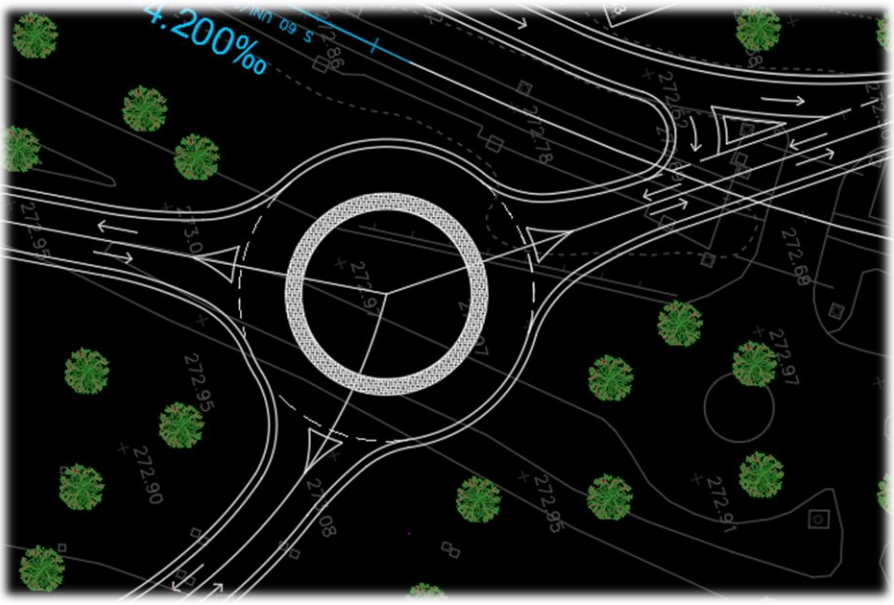


Figura 40: Estratto Autocad della rotatoria posizionata agli ingressi dell'AFA

Considerando le prescrizioni contenute nel DM del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 19 aprile 2016, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali", per la rotatoria progettata in questa sede si sono rispettati particolari criteri progettuali. Poiché il diametro esterno è pari a 40 metri, innanzitutto si parla di rotatoria convenzionale. L'isola centrale presenta un diametro di 11 metri, il cordolo sormontabile invece si estende per due metri.

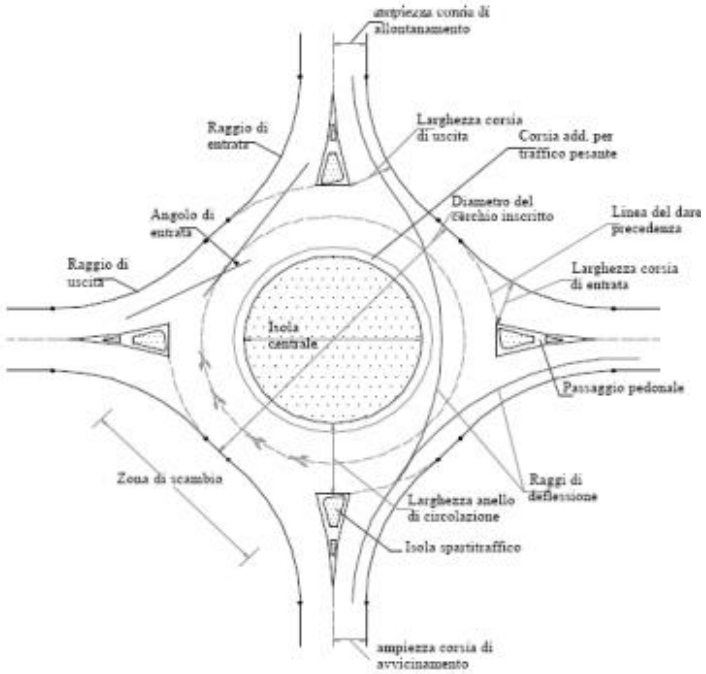


Figura 41: Nomenclatura elementi costituenti una rotatoria (fonte:Slide Teoria e Tecnica della Circolazione, Università degli Studi di Roma, Tor Vergata,, U. Crisalli)

Elemento modulare	Diametro esterno della rotatoria (m)	Larghezza corsie (m)
Corsie nella corona rotatoria (*), per ingressi ad una corsia	≥ 40	6,00
	Compreso tra 25 e 40	7,00
	Compreso tra 14 e 25	7,00 - 8,00
Corsie nella corona rotatoria (*), per ingressi a più corsie	≥ 40	9,00
	< 40	8,50 - 9,00
Bracci di ingresso (**)		3,50 per una corsia 6,00 per due corsie
Bracci di uscita (*)	< 25	4,00
	≥ 25	4,50

(*) deve essere organizzata sempre su una sola corsia.
(**) organizzati al massimo con due corsie.

Figura 42: Larghezze minime corsie (fonte: DM 2006)

In virtù di quanto prescritto in figura, si è adottata una larghezza di corsia pari a 6.0 metri. I bracci di ingresso e quelli di uscita sono rispettivamente superiori ai 3.5 e ai 4.5 metri.

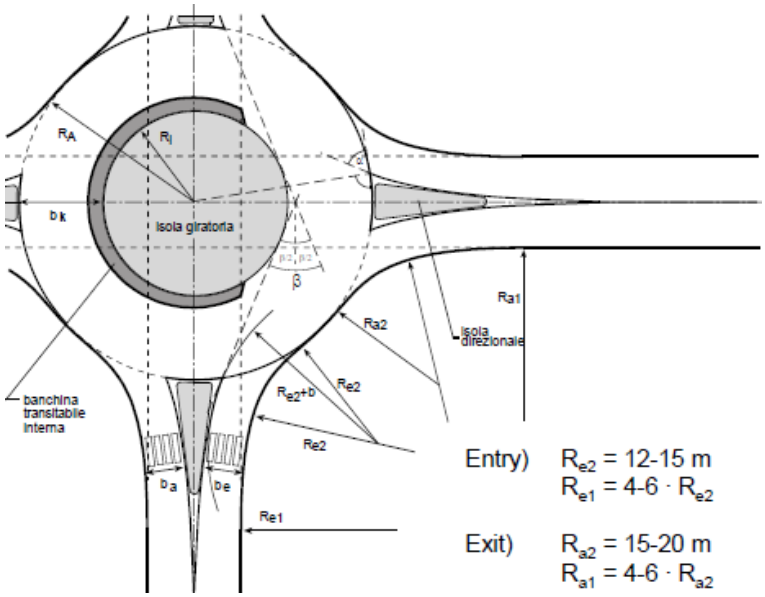


Figura 43: Requisiti progettuali bicentriche (fonte: Slide Design of Transportation Infrastructures Anno Accademico 2018-2019)

In fase di progettazione sono stati scelti i seguenti valori per i raggi delle bicentriche:

Entry (R_{e2} = 12 metri; R_{e1} = 48 metri)

Exit (R_{a2} = 15 metri; R_{a1}= 60 metri)

- Strada del Portone, è stata riqualificata conservando il tracciato originario ed omologandola alla categoria F1, ovvero con una sezione come quella rappresentata in figura 44:

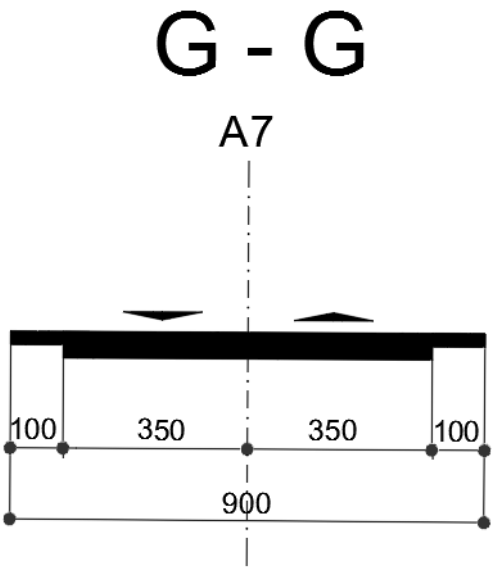


Figura 44: Esempio sezione stradale Strada del Portone, misure in cm

- Rotatoria situata su Strada del Portone e dedicata all'inversione per chi proviene dall'AFA ed è diretto alla tangenziale, il diametro esterno è pari a 25 metri, ne deriva che la larghezza della corsia di circolazione da normativa sarà 7 metri.

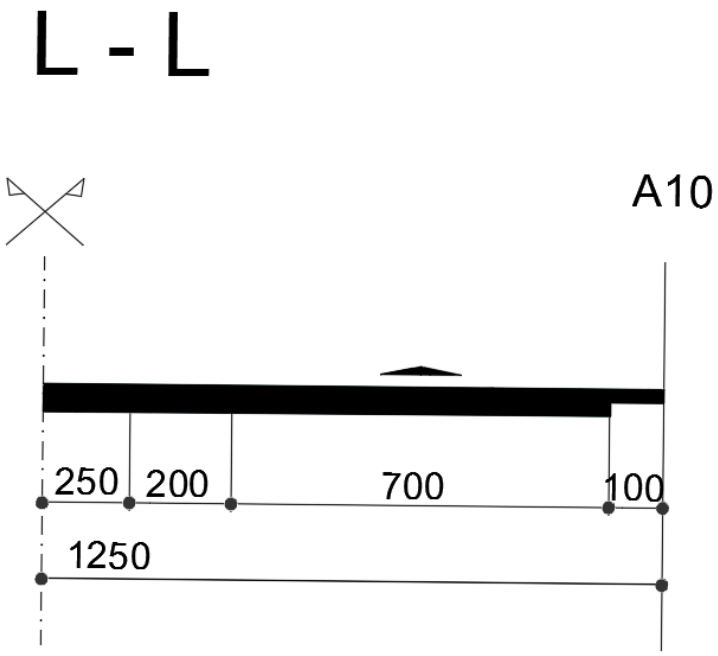


Figura 45: Esempio sezione della rotatoria, misure in cm

I bracci di ingresso e quelli di uscita sono rispettivamente superiori ai 3.5 e ai 4.5 metri.

Per i raggi delle bicentriche sono stati scelti i seguenti valori:

- **Entry** (R_{e2} = 12 metri; R_{e1} = 48 metri)
- **Exit** (R_{a2} = 15 metri; R_{a1}= 60 metri)

- Strade di accesso a Modalohr 1 e a Modalohr 2, si parla di strade di categoria F1, tuttavia in questo caso la scelta progettuale si è diretta su corsie larghe 3.5 metri, questo poiché si è preferito garantire una maggiore sicurezza alle operazioni di ingresso ed uscita dall'AFA, ciò si è quindi tradotto in un allargamento della sede stradale. Un esempio di sezione in tal senso è fornito in figura 46:

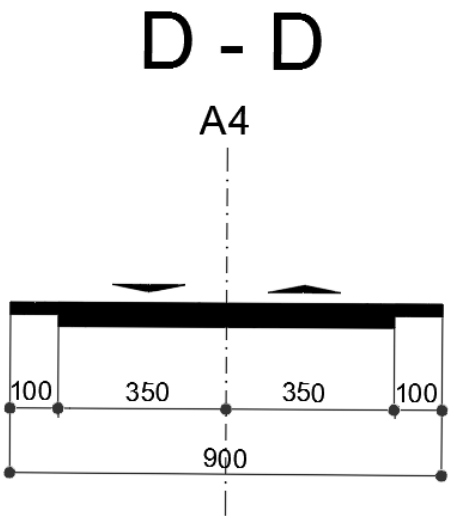


Figura 46: Esempio sezione stradale utilizzata per le strade d'ingresso AFA, misure in cm

Le prescrizioni sulle lunghezze minime dei rettilinei vengono rispettate, infatti per il collegamento a Modalohr 1 si hanno due rettilinei di lunghezza rispettivamente pari a 58 ed 84 metri, per Modalohr 2 invece si ha un rettilineo di lunghezza pari a 146 metri. Nel caso dell'ingresso di Modalohr 1 si è rivelato necessario progettare una curva compresa tra i due rettilinei, essa ha raggio di 70 metri, valore superiore rispetto al minimo imposto da normativa, ovvero 45 metri, come si nota in tabella.

CATEGORIA	AMBITO	Vp min [km/h]	RAGGIO MINIMO [m]
F1	EXTRAURBANO	40	45
F2	EXTRAURBANO	40	45

Tabella 11: Raggi minimi, in funzione della categoria di strada e della velocità minima di progetto

- Strada utilizzata per l'uscita da Modalohr 1 e che permette di bypassare la rotatoria, questo collegamento funge da uscita agevolata per i mezzi che hanno completato le operazioni e che in questo modo non sono tenuti a percorrere la viabilità interna, ciò permette di snellire i flussi di traffico. In questo caso si è scelto di riqualificare un'infrastruttura già esistente, imponendo tuttavia la circolazione in un solo senso di marcia, in questo modo è stato possibile predisporre la presenza di banchine e di una corsia di larghezza superiore alla norma, la quale soprattutto in situazioni di emergenza può rivelarsi fondamentale. La sezione stradale è rappresentata in figura 47:

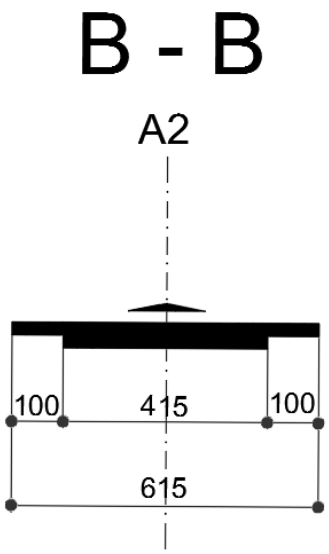


Figura 47: Esempio sezione stradale utilizzata per le strada di uscita da Modalohr 1, misure in cm

La strada di uscita da Modalohr 1 si ricongiunge alle altre infrastrutture stradali mediante l'intersezione rappresentata in figura 48:

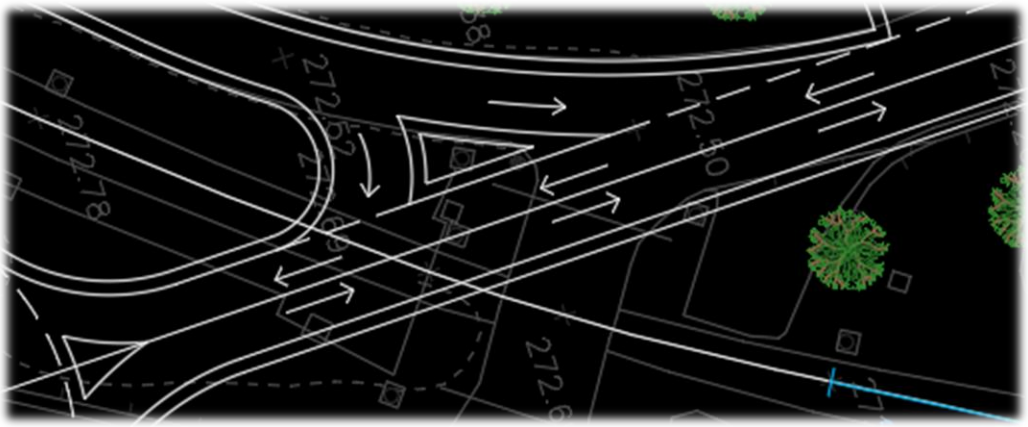


Figura 48: Estratto Autocad intersezione stradale uscita Modalohr 1 e strada di collegamento con Strada del Portone

Parcheggio a servizio della piattaforma intermodale, si è scelto di progettare un parcheggio esterno sia all'AFA che a Terminali Italia e DB Schenker e che possa essere sfruttato da tutte le realtà citate. Esso si compone di 24 stalli di dimensioni 20 x 5 metri, disposti a spina di pesce, con inclinazione a 45°. Agli stalli, per le operazioni di manovra viene garantito un franco di 21 metri, valore ben superiore al minimo ammissibile. L'accesso al parcheggio è possibile in maniera diretta dal collegamento tra Strada del Portone e la rotatoria di accesso a Modalohr 1 e Modalohr 2. A protezione degli stalli compresi tra la postazione 1 e la postazione 20 è risultato necessario ricorrere ad un muro di contenimento ad altezza variabile.

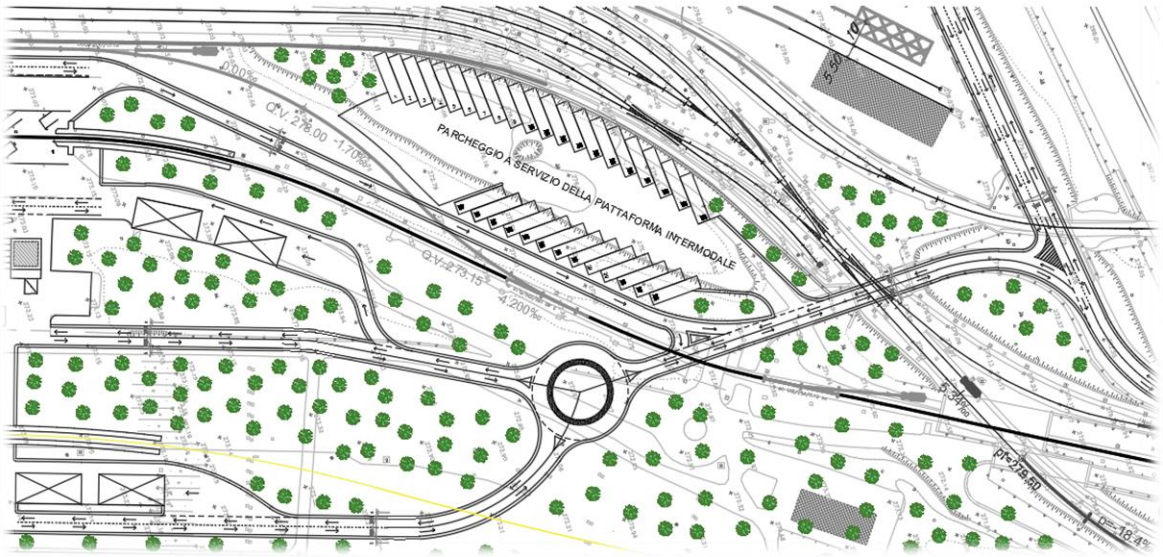


Figura 49: Estratto dello spazio carta di Autocad, comprendente tutte le infrastrutture stradali di accesso all'AFA ed il parcheggio a servizio della piattaforma intermodale

Parco fotovoltaico 1, è stato deciso di dedicare aree della piattaforma logistica inutilizzate alla realizzazione di parchi fotovoltaici, il primo di questi viene posizionato in posizione intermedia tra l'AFA e l'ospedale San Luigi Gonzaga. L'estensione del parco è di circa 10.000 m^2 e al suo interno oltre agli slot di pannelli è prevista la realizzazione di un edificio con la funzione di centrale di raccolta energetica. Il parco fotovoltaico 1 è raggiungibile dal piazzale di sosta dell'AFA. L'energia da esso prodotta può essere utilizzata dal terminal o dalla vicina Azienda ospedaliera-universitaria.

Figura 50: Estratto dello spazio carta di Autocad rappresentante il parco fotovoltaico 1

Parco fotovoltaico 2, il secondo parco fotovoltaico viene posizionato in una porzione della piattaforma compresa tra l'AFA e la futura sede della linea AV/AC Torino-Lione. Esso ha un'estensione di circa 8.000 m^2 e anche in questo caso è prevista la realizzazione di un edificio con la funzione di centrale per la raccolta di energia. In questo caso l'energia prodotta può essere sfruttata sia dall'AFA che da colonnine di ricarica di mezzi ibridi o da colonnine di alimentazione per container refrigerati, quest'ultime sono situate nel deposito predisposto per Terminali Italia e DB Schenker. L'accesso al parco è previsto dal piazzale di sicurezza interno all'AFA.

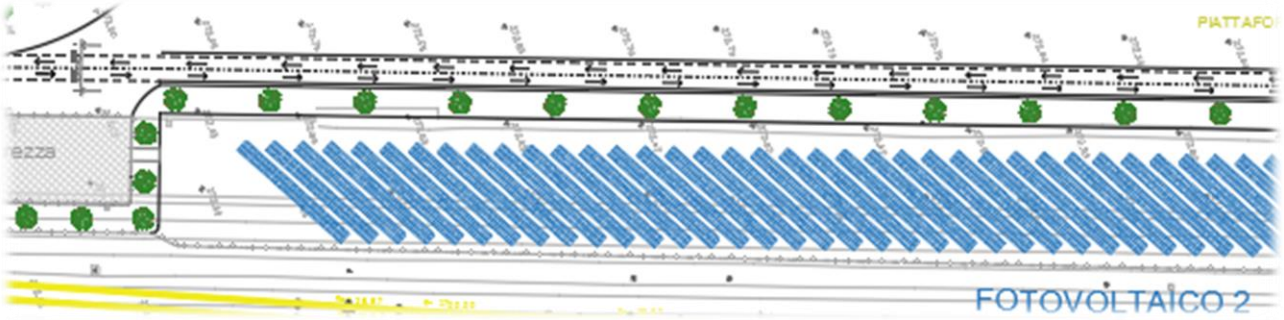


Figura 51: Estratto dello spazio carta di Autocad rappresentante l'ingresso e parte del parco fotovoltaico 2

Area deposito container a servizio di Terminali Italia e DB Schenker, si è scelto di prevedere la realizzazione di un'area deposito di circa 3.600 m^2, con la possibilità di accesso a colonnine di approvvigionamento elettrico a servizio dei container refrigerati.

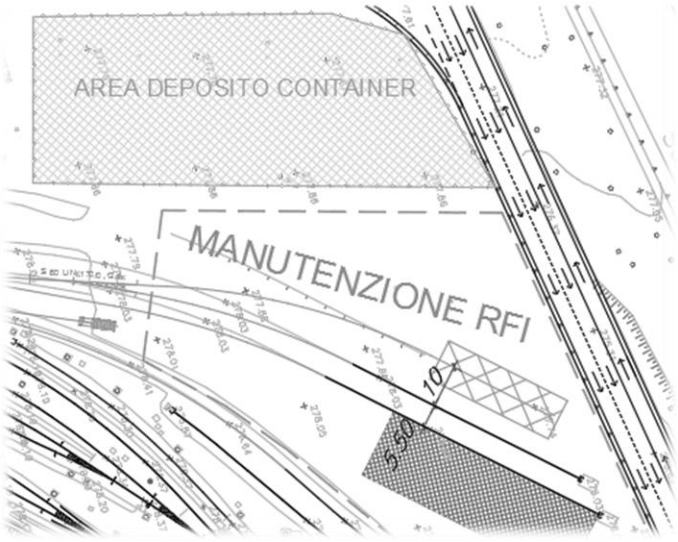


Figura 52: Estratto dello spazio carta di Autocad rappresentante l'area deposito container

Aree destinate al verde, si è garantito una porzione di aree destinate al verde superiore al 30% della superficie totale riqualificata, ciò è stato possibile anche per merito dell'opera di bonifica dell'ex sella di lancio ormai dismessa.

Introduzione servizio navetta tra il termovalorizzatore e SITO, tale servizio proposto si pone l'obiettivo di avere una doppia valenza. In uscita dal termovalorizzatore, tramite navette stradali, possono essere condotte le scorie alle infrastrutture di SITO le quali poi mediante combinato strada-rotaia possono dirottarle in prossimità di strutture specializzate. In questa sede si propone inoltre, nel caso in cui il termovalorizzatore non sia a saturazione, di convogliare presso SITO, rifiuti provenienti da altre località italiane che solitamente si servono di termovalorizzatori all'estero. Si potrebbero ridurre i costi di smaltimento dei rifiuti di molte realtà nazionali. In tal caso i rifiuti arriverebbero presso le infrastrutture di SITO e verrebbero condotte con servizio navetta al termovalorizzatore. I servizi navetta si servirebbero delle infrastrutture stradali interne alla piattaforma logistica.

Area destinata a parcheggi muniti di colonnine di ricarica per i mezzi elettrici, si è scelto di destinare a parcheggi con colonnine di ricarica una porzione della piattaforma logistica localizzata in prossimità delle attività di ristorazione presenti su Strada del Portone. Si è scelta questa particolare posizione perché in questo modo la ricarica dei mezzi può essere effettuata contemporaneamente alle attività ricreative dei conducenti, evitando dunque la creazione di tempi morti nel ciclo lavorativo. Le colonnine potranno attingere energia elettrica dai parchi fotovoltaici 1 e 2.

8.3 Fase 2 (2030)

8.3.1 Scenario RFI ipotizzato

Esaminando lo studio di fattibilità fornito da RFI al 2030 è prevista la realizzazione delle seguenti opere:

- **Linea AV/AC Torino-Lione**, la nuova linea divide in due porzioni l'ex sella di lancio, attraversandola con tracciato rettilineo. Si ricorda che in questa tratta le velocità di progetto non sono elevatissime, come testimoniato dallo sviluppo del tracciato in direzione Francia. Infatti si ha una curva di raggio 1.250 metri nella zona compresa tra i comuni di Orbassano e Rivalta.
- **Raccordi ferroviari con la Torino-Lione**, in zona esterna alla piattaforma sono stati predisposti i raccordi con i binari provenienti dalle infrastrutture di Torino-Orbassano.
- **Terminal gateway**, posizionato in prossimità dell'AFA, dotato di 3 binari operativi di lunghezza pari a 750 metri e servito da 2 gru a portale posizionate in serie. Una configurazione di questo tipo, in funzione del coefficiente di dinamicità scelto potrebbe movimentare al massimo 2.0 milioni di tonnellate di merce all'anno.
- **Viabilità a servizio di AFA e del terminal gateway**, RFI ha predisposto due ingressi diversi al gateway. Il primo da Nord-Ovest, mediante un viadotto di lunghezza non inferiore ai 250 metri, valore derivante dalla necessità di rispettare i franchi minimi di altezza sui binari ferroviari (almeno 7.5-8.0 metri) e le livellette massime utilizzate per superare il dislivello imposto. Il secondo da Nord, in prossimità dell'ingresso dell'AFA. I tecnici di RFI hanno scelto di regolamentare l'ingresso e l'uscita da AFA e dal terminal gateway mediante la realizzazione di una rotatoria. Scelta questa condivisibile, se non fosse per la disposizione degli accessi scelta e dall'irregolarità degli stessi, come si evince in figura:

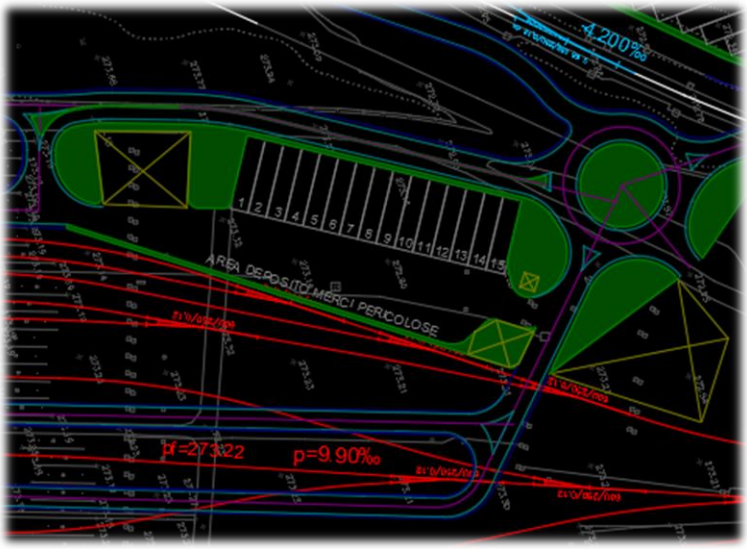


Figura 53: Estratto Autocad fornito da RFI, ingressi AFA e terminal gateway

In figura 54 si mostra l'infrastruttura scelta da RFI per garantire l'ingresso da Nord-Ovest, essa è stata motivata in sede di riunione dalla necessità di predisporre le operazioni di dogana e di check-in in posizione esterna al gateway, ovvero in apposite strutture tuttavia non presenti sullo studio di fattibilità:

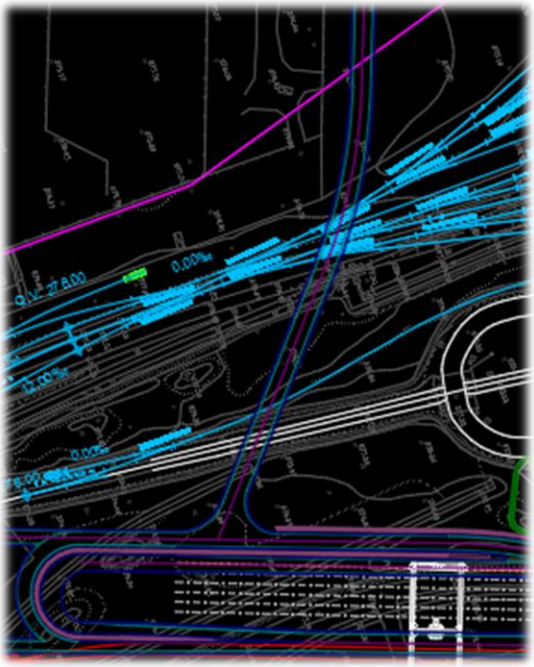


Figura 54: Estratto Autocad del viadotto di accesso da Nord-Ovest ipotizzato da RFI

La viabilità interna è stata garantita mediante collegamenti tra AFA, il terminal gateway ed i parcheggi esterni predisposti. Oltre ai 37 stalli programmati in Fase 1, RFI ne preventiva altri 92, di dimensioni 20 x 5 metri, suddivisi in 3 aree di sosta, tutte esterne all'AFA ed al gateway. Quest'ultima scelta dettata per ovvie ragioni di spazio non viene condivisa in questa sede, poiché totalmente non funzionale alle dinamiche di carico/scarico sia dell'AFA che del terminal gateway. Inoltre non viene prevista la riapertura di Strada del Portone. In questo elaborato invece si è scelto di evitare la costruzione di infrastrutture importanti come il viadotto di accesso optando per la riqualificazione delle infrastrutture esistenti.

- **Binari di sosta**, RFI nel suo scenario ha configurato la presenza di 2 binari di sosta merci pericolose e 8 di sosta, tutti di lunghezza pari a 750 metri. Naturalmente sono stati predisposti i relativi raccordi. I binari di sosta merci pericolosa sono raggiungibili mediante un collegamento stradale proveniente da Est, ovvero da via Bellezia o da via San Luigi, mediante l'utilizzo del sottopasso ad oggi ad uso esclusivo di RFI. Inoltre è previsto l'abbattimento di tutti gli edifici presenti in zona.
- **Binari di attraversamento**, sono rintracciabili due binari di attraversamento in posizione adiacente ad altri 3 binari serviti da rete viaria, presumibilmente convertibili, in un secondo momento, in binari operativi per operazioni di combinato strada-rotaia con gru semoventi frontali.
- **Raccordi con il fascio arrivi e partenze**, è stato previsto un adeguamento di tutti raccordi ferroviari che collegano il fascio arrivi e partenze con le altre macroaree della piattaforma logistica.

8.3.2 Scenario di progetto

Nell'ambito dello studio di fattibilità proposto in questa sede, considerando l'orizzonte temporale 2030 vengono suggeriti sia ulteriori interventi da realizzare che modifiche a quelli proposti da RFI, con il fine di restituire all'utenza una piattaforma logistica pronta ad accogliere i flussi derivanti dalla nuova linea Torino-Lione e dal porto di Vado Ligure.

In particolare si propone la realizzazione delle seguenti infrastrutture:

- Orbassano San Luigi come fermata della linea AV/AC Torino-Lione;
- Terminal gateway;
- Viabilità di accesso al terminal gateway;
- Collegamento ferroviario al CAAT;
- Aree destinate al verde.

Orbassano San Luigi come fermata della linea AV/AC Torino-Lione, si è pensato ad Orbassano San Luigi come fermata esterna alla città di Torino, come avviene a Milano con la fermata di Rho Fiera. Questa scelta è motivata principalmente da tre fattori:

- Dalla possibilità di sfruttare la domanda di trasporto passeggeri derivante da realtà come: Orbassano, Rivalta di Torino, Rivoli, Piossasco ed altri comuni dell'hinterland torinese;
- Dalle basse velocità di percorrenza della linea nel tratto specifico, come testimoniato dalla curva di raggio 1250 metri situata in prossimità della piattaforma logistica;
- Dai vantaggi in termini di decongestionamento delle stazioni di Porta Susa e Porta Nuova, sottraendo la quota di passeggeri proveniente dalle realtà ad Ovest di Torino.

Terminal gateway, si suggerisce la realizzazione di un terminal gateway in posizione e con capacità di movimentazione diverse rispetto a quanto proposto da RFI. In questa sede si localizza il terminal in prossimità della nuova linea del Servizio Ferroviario Metropolitano 5, dunque nella porzione sudorientale della piattaforma logistica. Si è progettato un terminal gateway munito di 4 binari operativi della lunghezza di 700 metri, serviti da 2 gru a portale in serie. I binari di sosta presentano lunghezza pari a 750 metri, sono state previste due aste di manovra anch'esse lunghe 750 metri. Tale configurazione permette la movimentazione di 2.5 milioni di tonnellate di merce all'anno.

Volendo entrare nel dettaglio, per la realizzazione del terminal gateway sono state effettuate le seguenti scelte progettuali, coerenti con i valori minimi imposti:

- Distanza asse binario gru ed asse binario operativo esterno = 3.5 metri
- Distanza tra gli assi di binari operativi adiacenti = 4.6 metri
- Distanza tra asse binario operativo più interno e limite esterno corsia operativa = 2.7 metri
- Larghezza delle due corsie operative = 3.5 metri
- Larghezza marciapiede = 0.75 metri
- Larghezza delle 6 corsie di deposito sottogru = 3.6 metri

Il terminal inoltre vanta al suo interno 86 stalli per i semirimorchi, di dimensioni 20 x 5 metri, con disposizione a spina di pesce ed inclinazione a 45°, vengono ampiamente rispettati i franchi per garantire la manovra.

Edificio riservato ad uffici, servito da 32 parcheggi destinati ai dipendenti, di dimensioni 4.8 x 2.4 metri.

Le operazioni di dogana e quelle di check-in vengono effettuate all'ingresso e si delegano a portali OCR. Sono stati previsti tre piazzali:

- Piazzale posteriore, si estende per circa 1250 m^2 ed ha il compito di ospitare mezzi in maniera temporanea.
- Area deposito container, trattasi di una superficie pari a circa 15.000 m^2, tendenzialmente un terminal gateway non dovrebbe presentare aree dedicate al deposito, in questo caso parte dello spiazzale è destinata a colonnine elettriche, alimentate dai due parchi fotovoltaici ultimati al 2022, esse andranno a servizio di container refrigerati. Si è operata questa scelta poiché non è da escludere la possibilità che Torino-Orbassano funga da retroporto di Vado Ligure e dunque alcune operazioni doganali sui container destinati al CAAT vengano svolte lontano dal porto ligure. Quest'ultima possibilità è stata ben accolta durante gli incontri con gli operatori e la presidenza del CAAT e porterebbe inoltre ad uno snellimento della mole di operazioni da svolgere a Vado Ligure. Questo secondo piazzale è servito da gru semoventi frontali.
  La capacità di deposito è calcolata ricorrendo alla formula di Sartor:

$$C = \frac{a \cdot h \cdot s \cdot d}{g \cdot p} = \frac{1024.6 \cdot 3 \cdot 0.65 \cdot 365}{2 \cdot 13} = 28.000\ UTI/anno$$

- Piazzale di sicurezza, ha un'estensione pari a circa 1500 m^2 ed è destinato al ricovero di mezzi in panne ed alle operazioni da svolgere in contesti di emergenza.

Naturalmente oltre ai singoli binari sono stati progettati i vari raccordi ferroviari che permettono la connessione del terminal gateway con le restanti infrastrutture ferroviarie della piattaforma logistica. Si è scelto di assegnare la stessa direzione di percorrenza alle due corsie operative per ragioni di sicurezza, infatti in questo modo le operazioni di sorpasso possono essere effettuate in assenza di pericoli di incrocio con veicoli provenienti dalla direzione opposta. Per evitare incroci tra i convogli ferroviari ed i mezzi stradali si è infine optato per un terminal a binari tronchi.

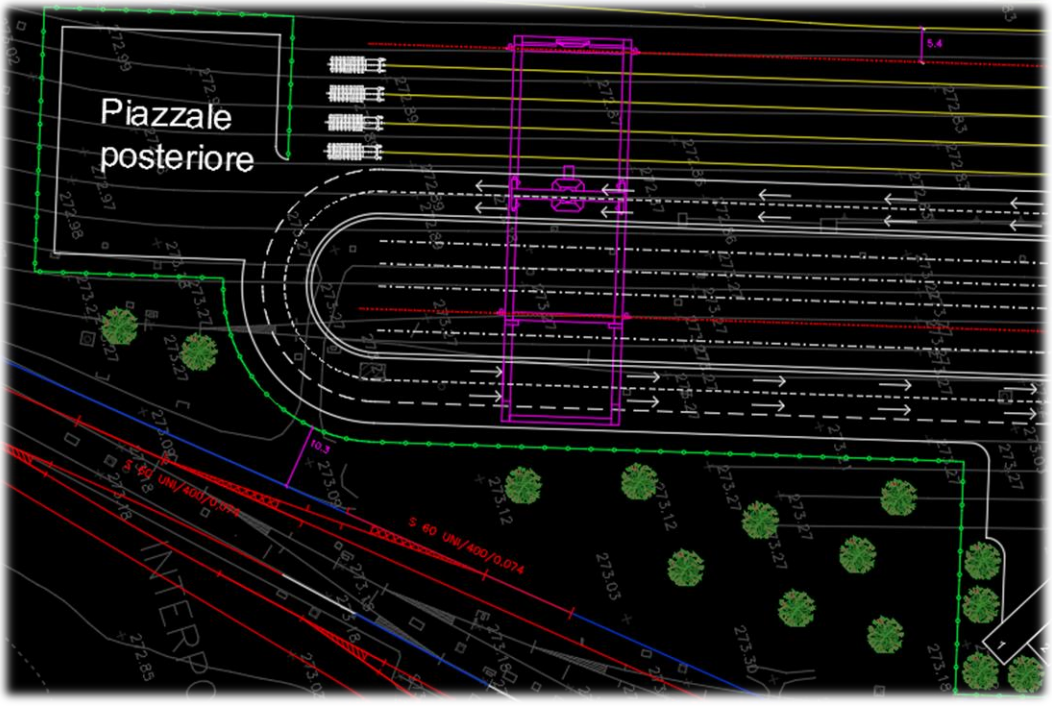


Figura 55: Estratto Autocad settore posteriore del terminal gateway

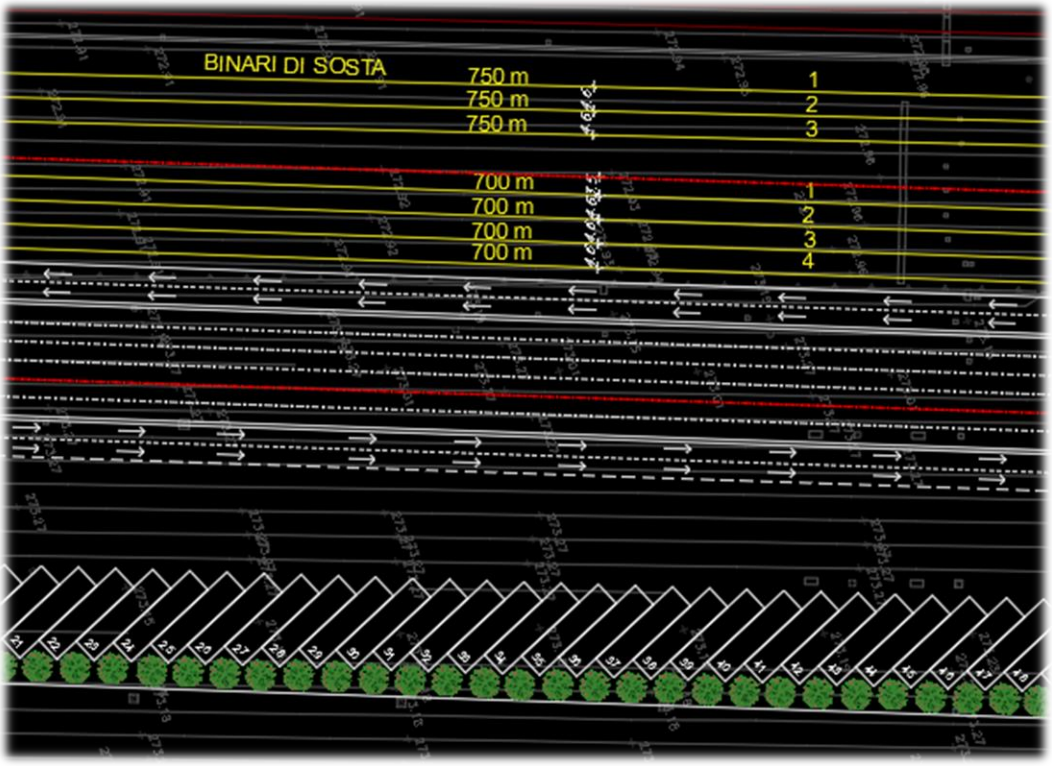


Figura 56: Estratto Autocad settore centrale del terminal gateway e stalli per i semirimorchi

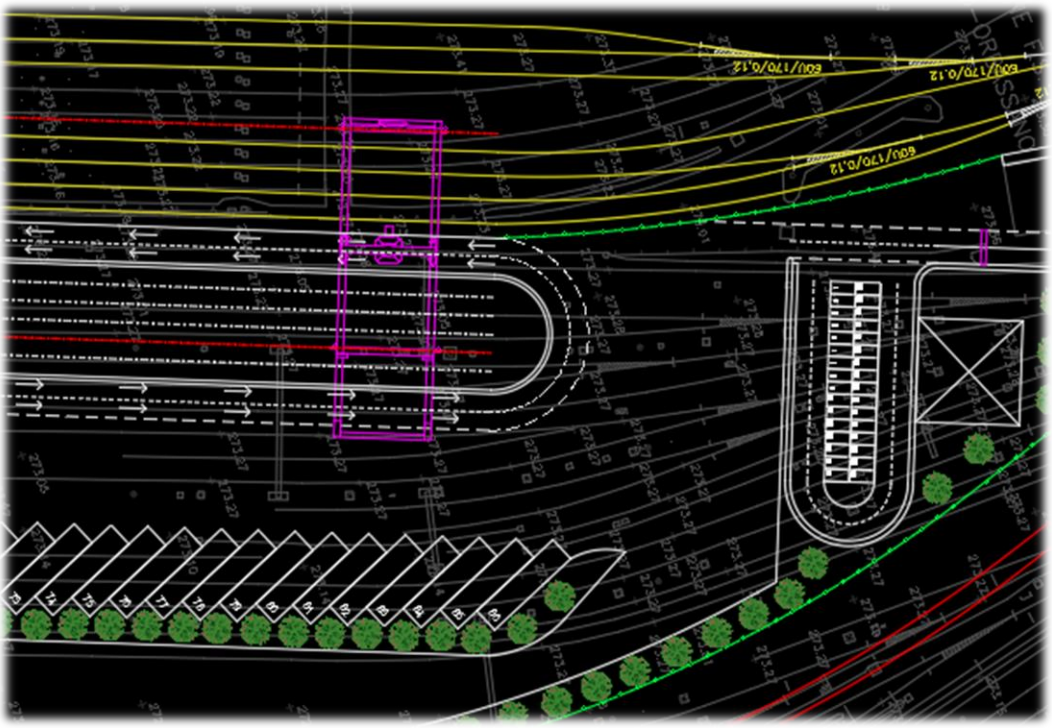


Figura 57: Estratto Autocad zona d'ingresso del terminal gateway

Viabilità di accesso al terminal gateway, il terminal diventerà accessibile utilizzando il sottopasso che ad oggi è al servizio di RFI e che connette gli edifici di RFI a via San Luigi e a via Bellezia. Si è scelto dunque di riqualificare un'infrastruttura esistente, apportando alcune modifiche alla soluzione proposta dai tecnici di RFI:

- In prossimità del sottopassaggio viene inserita una zebratura, con la funzione di ampliamento della banchina, questo a causa della presenza di una curva di raggio 18 metri, valore obbligato per la presenza del tracciato della linea AV/AC Torino-Lione. La zebratura può essere sfruttata nel caso in cui ci sia un incrocio tra veicoli provenienti dai sensi opposti, incrementando la sicurezza.
- Si è scelto di ridurre la livelletta all'uscita dal sottopassaggio, RFI proponeva una livellette del +5%, in questa sede si è deciso di superare un dislivello di 6 metri con un tracciato lungo circa 180 metri, dunque adottando un livellette del 3%. Questa scelta progettuale implica uno sviluppo maggiore dei muri di sostegno, tuttavia agevola la marcia dei mezzi pesanti. Una livelletta minore è più facilmente affrontabile da veicoli carichi.

  Il collegamento appartiene alla categoria F2 e la sezione stradale è rappresentata in figura 58:

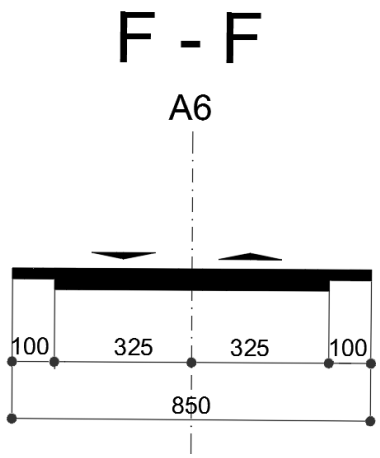


Figura 58: Esempio sezione stradale utilizzata per la strada d'ingresso al terminal gateway, misure in cm

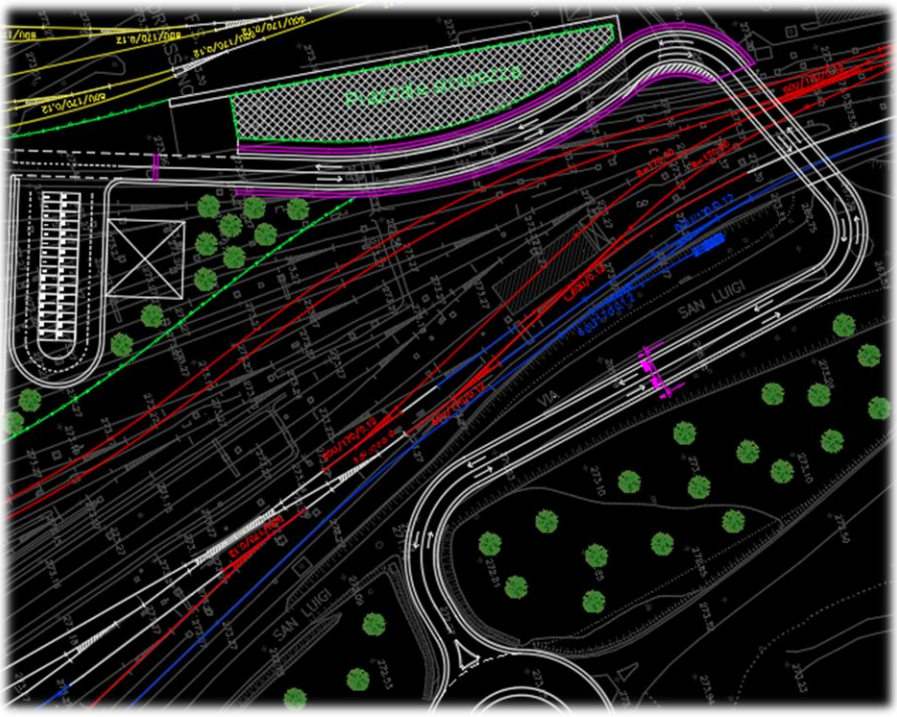


Figura 59: Estratto Autocad, strada di accesso al terminal gateway

Collegamento con il CAAT, viene proposta la realizzazione di un raccordo ferroviario tra il CAAT e le infrastrutture ferroviarie di SITO. Per superare la rete stradale interposta tra il CAAT e SITO viene sfruttato un viadotto esistente, di lunghezza pari a 23 metri e larghezza 9 metri. Tale viadotto esiste poiché in fase di progettazione del Centro Agro Alimentare Torinese venne concepita una predisposizione ad una connessione ferroviaria. Il binario progettato in questa sede si estende complessivamente per una lunghezza di 460 metri, tuttavia la porzione operativa è pari a 260 metri. Non è stato possibile realizzare un binario operativo più lungo a causa degli ostacoli interni al CAAT, ovvero le strutture interne. Il binario viene attrezzato con una gru semovente frontale, la quale avrà possibilità di muoversi su una banchina di lunghezza pari alla lunghezza del binario operativo e larghezza variabile tra i 26.5 metri ed i 50 metri.

Poiché nel materiale fornito da RFI non era presente la cartografia della macroarea occupata dal CAAT è stato necessario effettuare un'operazione di ricerca, in modo da ottenere la cartografia della zona oggetto di progettazione. Essa è stata fornita dagli uffici del SIT e CARTOGRAFICO della Città Metropolitana di Torino. Bisogna specificare che il metadato ricevuto non presenta lo stesso grado di dettaglio della cartografia fornita da RFI e non ricopre l'intero CAAT. In ogni caso si è rivelato sufficiente per la creazione dell'elaborato progettuale riportato in questo studio. In figura 60 viene riportato il lavoro di progettazione eseguito e vengono evidenziate con layers diversi le due cartografie usate.

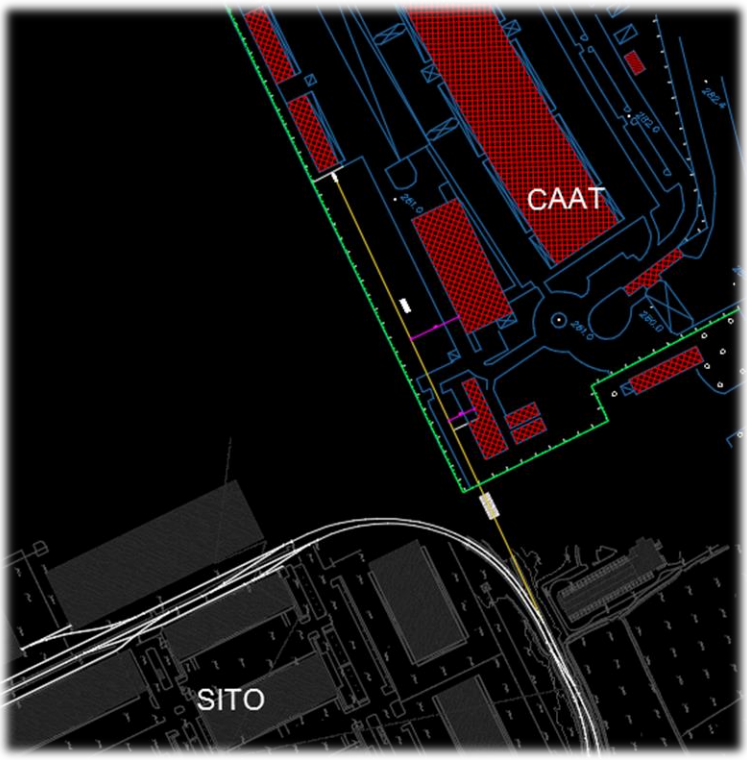


Figura 60: Estratto Autocad del raccordo ferroviario tra le infrastrutture di SITO ed il CAAT

Aree destinate al verde, si è garantito una porzione di aree destinate al verde superiore al 30% della superficie totale riqualificata, in accordo con quanto prescritto nella normativa.

9. Progetto di simulazione

La simulazione è definita come "Imitazione delle attività di un processo o di un sistema reale nel tempo"[J. Banks, J. Carson, B. Nelson, D. Nicol]. È uno strumento che può essere utilizzato per la risoluzione di molti problemi reali: permette di prevedere il comportamento del sistema in determinate situazioni e fornisce risultati di supporto alla direzione nella scelta degli interventi da apportare.

Risulta importante sottolineare che la simulazione si limita a fornire previsioni delle prestazioni di un sistema sotto determinate condizioni: non fornisce direttamente soluzioni ottimizzate ma permette di testare le conseguenze di scelte differenti. Per poter simulare correttamente è necessario costruire un modello che rappresenti il sistema interessato e tutti gli opportuni dati di input.

Per la stesura di questo capitolo è stato preso come riferimento il materiale del corso "Simulazione dei sistemi gestionali" [22].

9.1 Fasi del progetto di simulazione

9.1.1 Definizione del problema

All'interno di questa fase viene realizzata una dettagliata analisi del sistema reale che si vuole rappresentare attraverso la simulazione. Si procede innanzitutto con la definizione degli obiettivi della simulazione e vengono individuati i principali indicatori di performance.

Vengono individuate le diverse componenti del sistema con le loro variabili e parametri mentre allo stesso tempo si avvia la fase di raccolta dati. Attraverso opportune assunzioni e semplificazioni si creano dei modelli concettuali che rappresentino i diversi processi. All'interno del modello concettuale vengono indicati i componenti del sistema reale che sono rappresentati e quali invece sono esclusi dalla simulazione.

Il livello di dettaglio della simulazione dipende sia da come saranno utilizzati i risultati forniti sia dalla disponibilità dei dati di input. La tendenza è quella di creare un modello di base a cui vengono effettuate aggiunte sempre più specifiche.

9.1.2 Analisi degli input

Questa fase include tutte le interviste e le raccolte dati necessarie per individuare le distribuzioni statistiche dei processi reali, come ad esempio valore della domanda, tempi di arrivo e di processo. Inoltre vengono individuate le disponibilità delle risorse e tutte le particolarità del sistema da includere nel modello di simulazione.

Dove possibile i dati vengono raccolti e vengono stimate delle opportune distribuzioni statistiche; strumenti come l'Input Analyzer di Arena possono essere di supporto in questa fase. Dove la raccolta dati non fosse disponibile ci si affida al parere di esperti del settore o si consultano casi in letteratura per stimare le distribuzioni mancanti.

9.1.3 Costruzione del modello

I modelli di simulazione possono essere di diverse tipologie, ognuna di queste è più adatta a rappresentare determinati sistemi e utilizza diversi strumenti software. I modelli possono essere "Statici" se rappresentano il sistema in uno specifico istante di tempo, mentre i modelli "Dinamici" descrivono il comportamento del sistema durante la sua evoluzione temporale. Una seconda distinzione può essere fatta relativamente all'introduzione di elementi randomici nella simulazione: i modelli "Deterministici" non hanno nessuno di questi elementi, e quindi non presentano variabilità, mentre i modelli "Stocastici" possono presentare differenti risultati nelle repliche di una stessa simulazione. Un'ulteriore divisione è quella tra modelli "Discreti" e "Continui"; nei primi il sistema evolve solo in certi istanti di tempo, nei secondi invece il tempo scorre in maniera lineare.

Il modello descritto in questa tesi è di tipologia: Stocastico, Dinamico e Discreto.

Per la costruzione del modello si può effettuare la scelta tra due famiglie diverse di linguaggi di programmazione:

- General purpose (C++, Java, Visual Basic);
- Orientati alla simulazione (Arena, Witness, Automod).

9.1.4 Verifica e validazione

La fase di verifica ha lo scopo di controllare la corretta scrittura del programma: come in qualsiasi processo di sviluppo software il codice viene testato per individuare e correggere eventuali bachi ed errori di programmazione. Strutturare il codice in diversi moduli e sottoprogrammi permette di effettuare un testing più efficace, così come lanciare simulazioni con diverse tipologie di input e parametri. Lo strumento "Animazione" di Arena permette di seguire il percorso delle entità all'interno del modello; in questo modo si possono individuare con più facilità le cause di eventuali errori.

Dopo che il modello è stato verificato è necessario procedere con la validazione: si controlla se il modello rappresenta in maniera appropriata il sistema reale oggetto della simulazione. Un primo metodo è quello in cui viene effettuato un confronto tra gli output ottenuti dal modello e quelli del sistema reale in cui sono utilizzati gli stessi dati di input; il confronto può essere effettuato senza l'uso di procedure statistiche oppure può essere costruito un intervallo di confidenza. In alternativa è possibile accertarsi che il modello sia valido accostando i risultati con quelli di simili studi, oppure chiedendo il parere di esperti in materia.

9.1.5 Definizione scenari e analisi degli output

Durante questa fase vengono definiti gli scenari nei quali si vuole valutare il sistema. Gli scenari riproducono gli effetti delle diverse scelte e modifiche che possono essere apportate al sistema dalla dirigenza: i risultati della simulazione potranno consentire l'individuazione della migliore alternativa.

Per ognuno degli scenari simulati è necessario innanzitutto definire la lunghezza delle singole repliche, definendo un orizzonte temporale significativo per il sistema osservato; successivamente si individua il numero di repliche necessario per ottenere risultati non distorti. Sempre per evitare output non attendibili si procede con l'identificazione del transitorio, periodo in cui il modello si simulazione non è ancora a regime e che deve quindi essere escluso dall'osservazione.

9.1.6 Analisi dei risultati

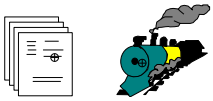
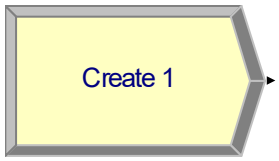
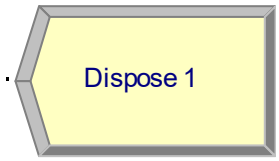
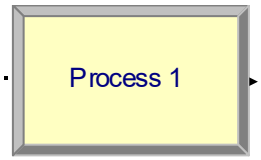
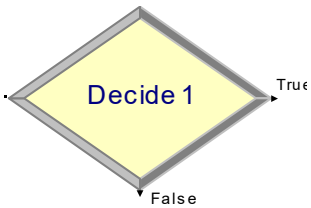
Nella fase finale vengono calcolati degli intervalli di confidenza per le performance del sistema ed inoltre si osservano le eventuali correlazioni tra le variabili.

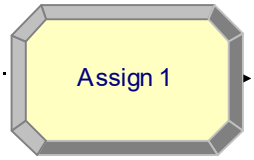
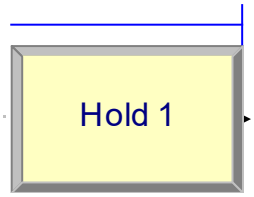
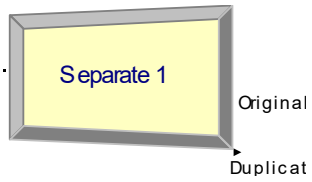
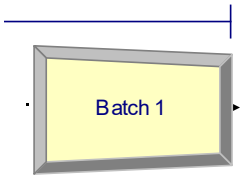
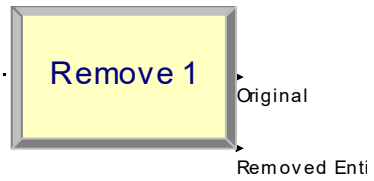
I risultati dei diversi scenari vengono confrontate tra di loro e con casi benchmark, col fine di individuare l'alternativa migliore.

9.3 Arena Simulation

Arena è un software ad eventi discreti che permette di simulare sistemi con distribuzioni stocastiche. L'ambiente di sviluppo permette di utilizzare dei blocchi, chiamati "moduli", per riprodurre i processi reali. I moduli hanno diverse funzionalità: gestiscono i flussi di entità nel modello, assegnano valori ad attributi e variabili, monitorano lo stato delle code e assegnano le risorse ai diversi processi.

Di seguito è riportato un elenco dei principali moduli di Arena utilizzati all'interno del progetto di tesi:

IMMAGINE	NOME	DESCRIZIONE
	ENTITÀ	Un'entità è un oggetto in grado di muoversi attraverso i moduli Arena attivandoli (es. treno).
	ATTRIBUTI	Racchiudono dati relativi alle singole entità (es. ID treno).
	VARIABILI	Racchiudono dati di utilizzo generale all'interno del modello (es. velocità treni).
	RISORSE	Svolgono le attività all'interno dei moduli Process (es. gru)
	ESPRESSIONI	Formule ricorrenti utilizzate nei moduli Hold e Decide (es. verifica itinerario libero).
	SEQUENZE	Elenco di moduli Station che l'entità dovrà raggiungere.
	STATISTICHE	Dati raccolti per la generazione degli output (es. tempo medio carico treno).
	CREATE	Crea le entità in base a determinate distribuzioni di input.
	DISPOSE	Elimina le entità al termine del loro processo.
	PROCESS	Simula le operazioni reali utilizzando delle apposite risorse, al suo interno possono formarsi delle code di entità.
	DECIDE	Indirizza le entità in base al risultato di un'espressione.

	ASSIGN	Assegna valori ad attributi, variabili e sequenze.
	HOLD	Trattiene le entità al suo interno fino al verificarsi di una determinata condizione (indicata in una espressione); possono generarsi code di entità al suo interno.
	SEPARATE	Divide un entità in più duplicati.
	BATCH	Raggruppa più entità creandone una unica.
	SEARCH	Cerca una determinata entità all'interno di una coda. Restituisce l'indice dell'entità interessata nella variabile J.
	REMOVE	Rimuove un'entità da una coda, solitamente utilizzato assieme al modulo Search per selezionare l'entità in posizione J.

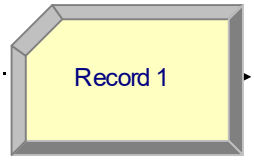
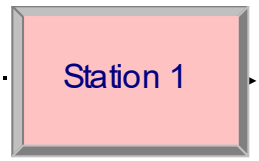
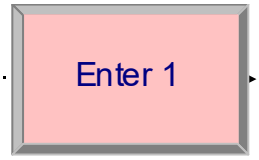
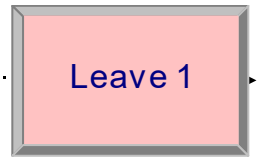
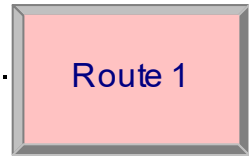
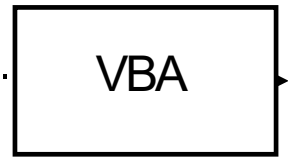
	RECORD	Salva determinate statistiche.
	STATION	Rappresenta un nodo che può essere destinazione di una sequenza. Solitamente le station coincidono con le principali aree del sistema.
	ENTER	Indica l'ingresso in una station.
	LEAVE	Indica l'uscita da una station.
	ROUTE	Indirizza le entità verso i blocchi station in base alle sequenze.
	VBA	Permette l'interazione con il codice VBA.

Tabella 12: Moduli e costrutti presenti all'interno del software Arena

Un'altra importante caratteristica di Arena è quella di essere integrato con Visual Basic for Application (VBA), il linguaggio di programmazione di Microsoft. Questo permette di creare un collegamento diretto tra Arena e Microsoft Excel per la lettura di file di input e la generazione di file di output; VBA permette inoltre di modificare i parametri di Arena garantendo numerose possibilità.

10. Simulazione piattaforma logistica di Torino Orbassano

10.1 Definizione del problema

L'obiettivo del modello è la simulazione del sistema "Piattaforma logistica di Torino Orbassano", in particolare i diversi flussi di veicoli che interessano la piattaforma e l'operatività dei terminal al suo interno.

La simulazione punta a creare un primo modello in grado di rappresentare la situazione attuale e un secondo modello relativo allo scenario 2030, con la presenza al suo interno delle nuove infrastrutture dei i nuovi flussi di traffico merci dovuti alla Nuova Linea Torino Lione e al porto di Vado Ligure.

Gli indicatori principali per valutare la capacità di risposta della piattaforma a questi nuovi flussi sono in primo luogo legati alla circolazione dei treni e alle operazioni dei terminal:

- Ritardi rispetto a orari di partenza/arrivo programmati;
- Tempo di permanenza di un treno all'interno di un terminal per le operazioni di carico;
- Utilizzo dei diversi fasci di binari dello scalo ferroviario.

Per rappresentare in una simulazione tutti gli aspetti e i processi presenti all'interno della piattaforma logistica è necessario distinguere tre diversi sotto-sistemi:

- Sotto-sistema ferroviario;
- Sotto-sistema stradale;
- Sotto-sistema di movimentazione delle UTI.

Queste tre componenti sono molto diverse tra di loro ed entrano in contatto nei terminal, vero cuore pulsante della piattaforma logistica. Nel flow chart di seguito riportato sono schematizzati i processi interni ai tre sotto-sistemi.

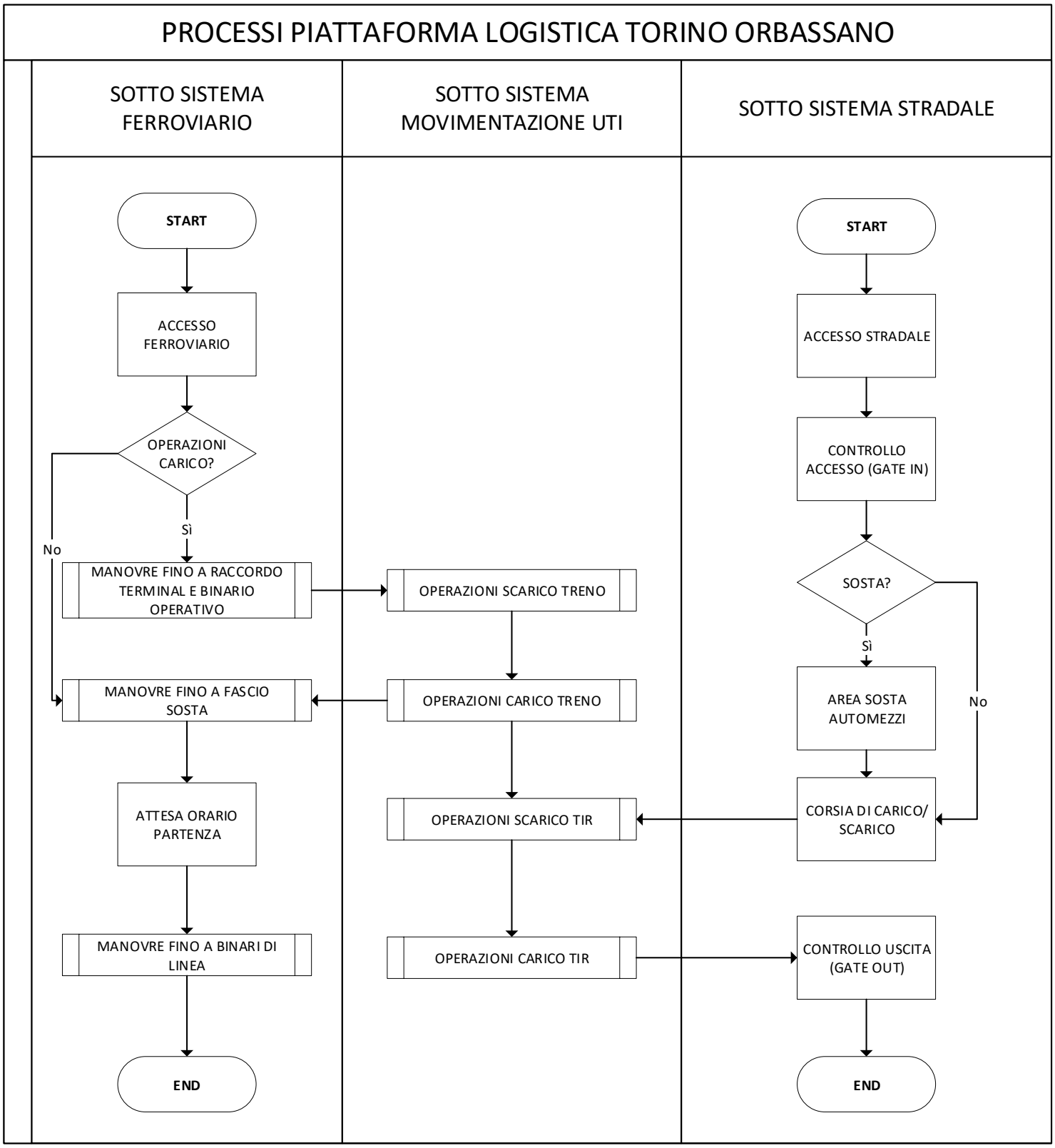


Figura 61: Flow chart del sistema "piattaforma logistica Torino Orbassano"

10.1.1 Sotto-sistema ferroviario

Il sistema di segnalamento nasce come supporto alla circolazione dei treni che, a causa di uno spazio di arresto notevole, non possono effettuare la marcia a vista come accade invece per i veicoli stradali. Il grande spazio di arresto è dovuto al basso coefficiente di aderenza tra ruota e rotaia, alla consistente massa dei treni e alle elevate velocità a cui procedono i convogli. Solitamente, nel caso di circolazione sulla linea, la visibilità del macchinista di aggira tra i 100 e i 300 m, mentre lo spazio necessario al treno per fermarsi è può variare tra 500 e 2000m [23].

Il segnalamento ferroviario garantisce sempre una distanza di sicurezza tra treni attraverso il meccanismo delle sezioni di blocco: il principio su cui si fonda è che ogni sezione di blocco può essere attraversata da un solo treno per volta. Per questo motivo poco prima dell'inizio della sezione di blocco si trova l'EMA (End of Movement Authority), punto entro il quale il treno deve arrestarsi per non invadere la sezione di blocco. Presso questo punto si trova un segnale che sarà posto a "via impedita" se la sezione di blocco è occupata. Per permettere al macchinista di effettuare la frenatura e arrestarsi in prossimità dell'EMA è previsto un IP (Indication Point); questo segnale è posto sempre a una distanza maggiore dello spazio di frenatura. I sistemi a blocco fisso utilizzano segnali di protezione, mentre quelli a blocco mobile EMA e IP si spostano in funzione della distanza di sicurezza rispetto al treno "inseguito".

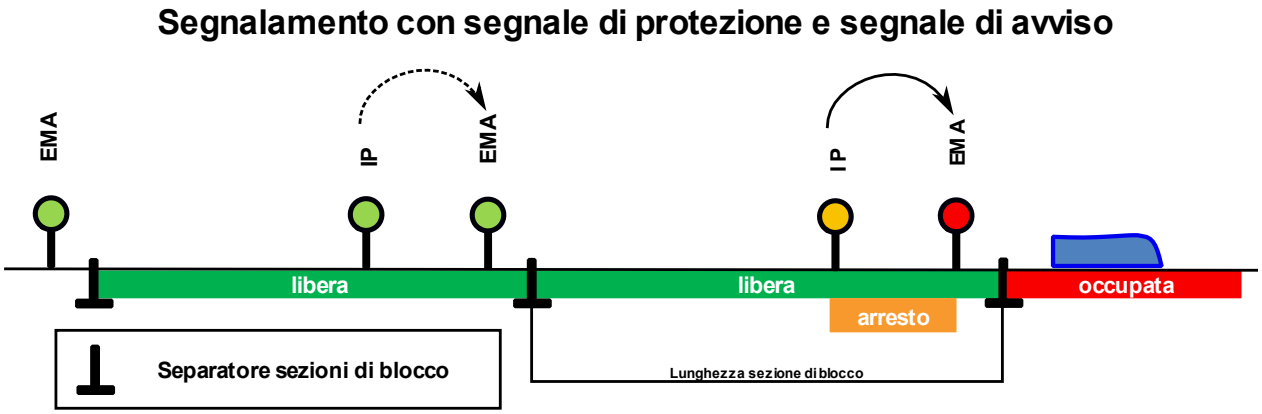


Figura 62: Segnalamento con segnale di protezione e segnale di avviso [23]

Per la circolazione all'interno delle stazioni i principi restano gli stessi. Nelle piccole stazioni viene svolto un movimento per volta, mentre nelle stazioni più grandi avvengono contemporaneamente diversi movimenti di treni e manovre.

I percorsi che i treni percorrono all'interno delle stazioni possono assumere due nomi differenti:

- ITINERARI: per gli arrivi o per le partenze da/verso la linea e per i transiti attraverso la stazione;
- INSTRADAMENTI: per le manovre interne alla stazione.

I segnali all'interno della stazione sono posti normalmente a via impedita e vengono posti a via libera una volta che l'itinerario (o instradamento) viene formato. Possono essere eseguiti contemporaneamente itinerari e/o instradamenti che non condividono alcun ente di stazione (deviatoi, circuiti di binario, segnali).

All'interno del modello di simulazione non sono state fatte distinzioni tra questi due diverse tipologie di percorso: ci si riferisce ad essi sempre con il termine itinerari.

10.1.2 Sotto-sistema stradale

Dalla tangenziale di Torino i mezzi stradali raggiungono i diversi terminal dove consegnare e ritirare le UTI. I tempi di percorrenza tra la tangenziale e i gate dei terminal sono racchiusi all'interno del modello.

Come riferimento è stato scelto un autoarticolato in grado di trasportare un container da 40 piedi (FEU). All'interno del modello è stato assunto che ogni entità "tir" trasporterà un'UTI da caricare sul treno e preleverà un'altra UTI dal piazzale dello stesso terminal: questa scelta è stata presa in seguito ad interviste con i diversi operatori dei terminal, in quanto la maggior parte dei vettori stradali delle aziende di trasporto opera con queste modalità.

All'ingresso dei terminal i tir effettuano delle operazioni di controllo documentazione negli appositi gate, successivamente raggiungono le aree di carico scarico delle UTI dove vengono effettuate le operazioni.

10.1.3 Sotto-sistema movimentazione UTI

All'interno della piattaforma logistica esistono diversi terminal; questi non sono gestiti dalla stessa società e presentano molte differenze tra di loro. Sono presenti terminal intermodali con tecniche di caricamento LO-LO, oltre all'autostrada ferroviaria per il trasporto di semirimorchi e binari operativi per il trasporto diffuso e il trattamento di merce pallettizzata. Inoltre questi terminal presentano differenze anche sulla gestione operativa delle operazioni di carico, in quanto alcuni di essi danno la precedenza al treno mentre altri attendono i tir per effettuare il trasbordo diretto delle UTI.

Per le operazioni di carico/scarico vengono utilizzate diversi tipi di mezzi di movimentazione, le cui prestazioni e particolarità verranno evidenziate nei seguenti capitoli.

10.2 Analisi degli input

10.2.1 Layout dello scalo

La rete ferroviaria dello scalo è descritta nel piano schematico della stazione. Questo documento illustra nel dettaglio gli itinerari che collegano lo scalo alla linea, la composizione dei fasci di binari e la posizione dei sistemi di segnalamento.

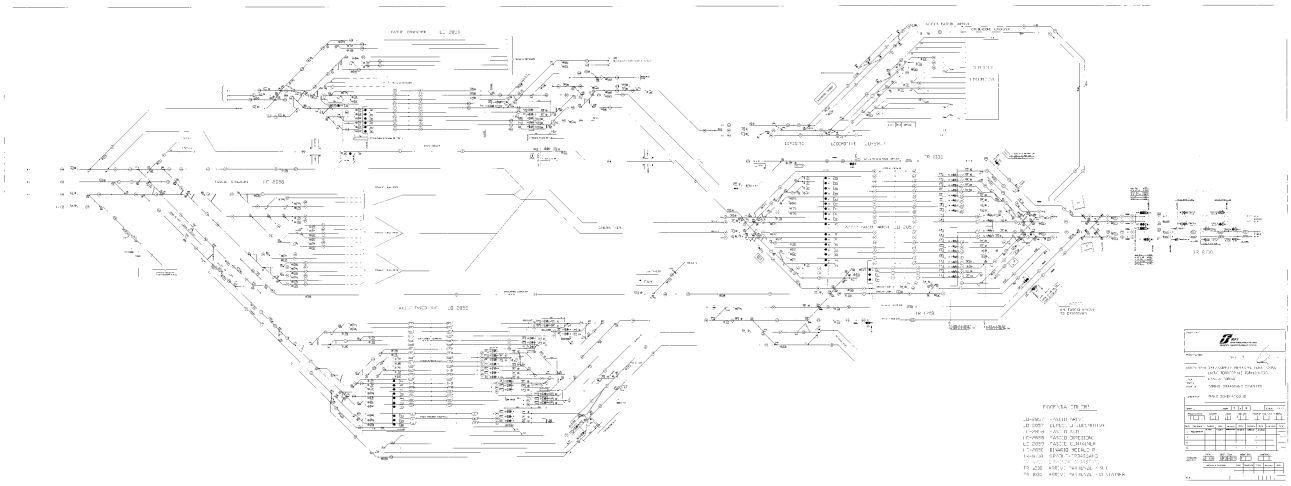


Figura 63: Piano schematico scalo ferroviario Torino Orbassano (2010)

Per poter rappresentare questa rete all'interno del software di simulazione il piano schematico è stato ricondotto ad una serie di nodi ed archi. I nodi rappresentano le componenti principali dello scalo: i fasci di binari dove è possibile far sostare i treni, i terminal in cui vengono eseguite le operazioni di carico, le aste di manovra e i punti di collegamento con i binari di linea. Gli archi invece rappresentano i binari di collegamento tra i diversi fasci.

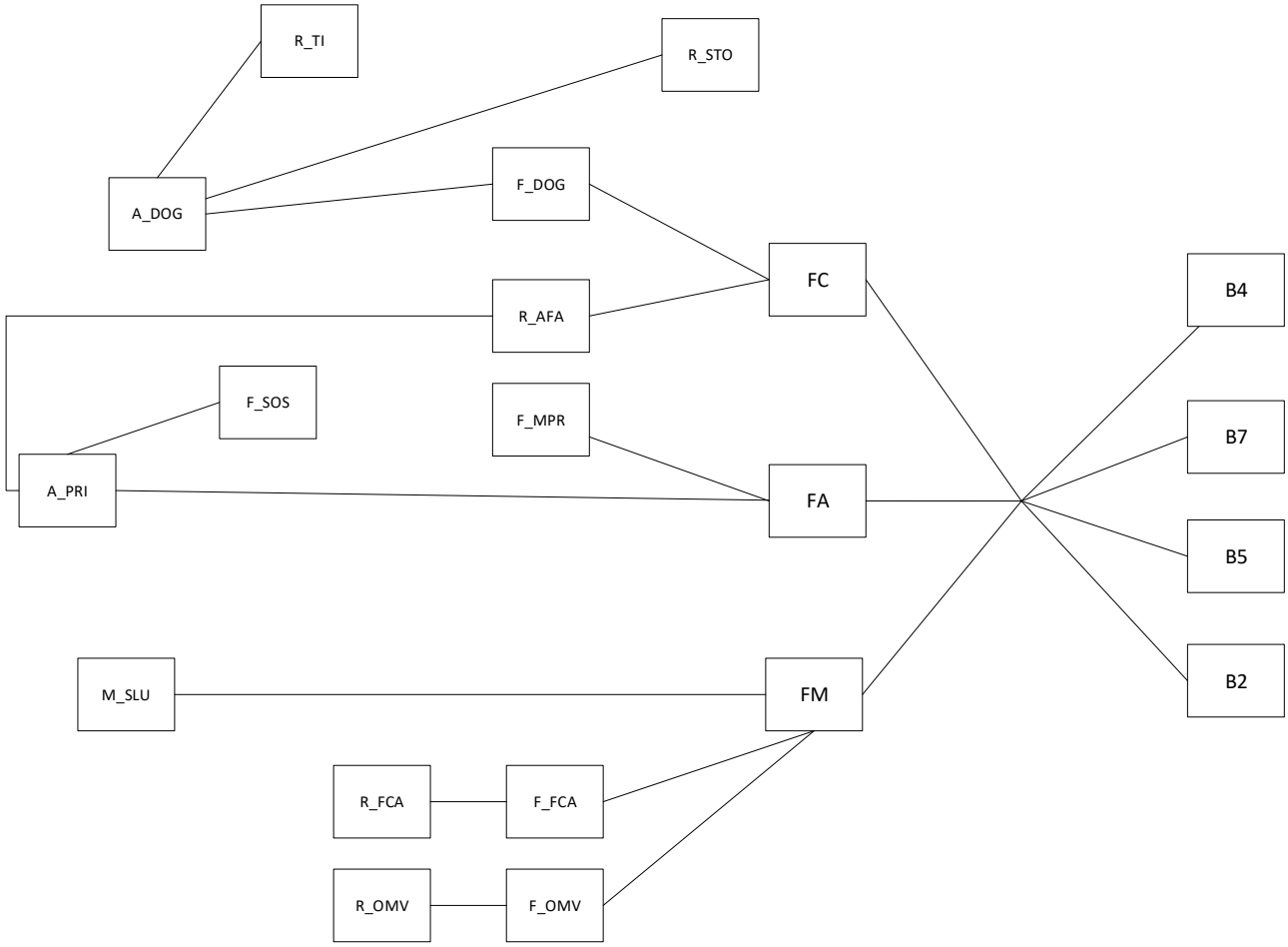


Figura 64: Nodi e archi dello scalo ferroviario di Torino Orbassano (scenario 2020)

B4 – BINARIO LINEA 4 (Uscita verso Modane)	F_DOG – FASCIO DOGANA
B7 – BINARIO LINEA 7 (Entrata da Modane)	R_AFA – RACCORDO AFA MODALOHR
B5 – BINARIO LINEA 5 (Uscita verso Torino)	F_MPR – FASCIO MATERIE PERICOLOSE
B2 – BINARIO LINEA 2 (Entrata da Torino)	F_FCA – FASCIO FCA
FC – FASCIO ARRIVI CONTAINER	R_TI – RACCORDO TERMINAL ITALIA
FA – FASCIO ARRIVI PARTENZE	A_DOG - ASTE DOGANA
FM - FASCIO METROPOLITANA	F_SOS - FASCIO SOSTA
R_FCA - RACCORDO FCA	A_PRI - ASTE DI MANOVRA PRINCIPALI
R_STO - RACCORDO SITO	M_SLU - METROPOLITANA SAN LUIGI
F_OMV – FASCIO OMV	R_OMV – RACCORDO OMV

Tabella 13: Denominazione nodi dello scalo ferroviario di Torino Orbassano (scenario 2020)

Nel file input Excel sono elencati i diversi nodi: ognuno di essi presenta l'ID della Station Arena assegnata, il numero di binari disponibili e il tempo di percorrenza.

Nome nodo	ID station	Binari	Tempo
R_AFA	5	2	1,6
F_DOG	6	8	2,3
A_DOG	8	1	1,8
R_STO	21	7	2,4
R_TI	34	10	1,8
A_PRI	37	2	2,0
F_FCA	47	4	2,3
FA	51	19	3,6
FC	52	1	3,6
FM	50	2	3,6
R_FCA	59	1	3,0
F_MPR	61	3	2,1
M_SLU	62	2	2,1
F_SOS	64	12	2,3
F_OMV	2	1	2,3
R_OMV	10	1	2,3

Tabella 14: Dati relativi ai nodi ferroviari nel file di input (scenario 2020)

10.2.2 Matrice degli itinerari

La compatibilità tra i diversi movimenti è riassunta in una matrice degli itinerari; questa matrice viene sempre controllata prima della formazione di un itinerario. Una volta dato il via libera tutti gli itinerari non compatibili con quello in corso non potranno essere eseguiti fino al suo completamento.

Sempre utilizzando come riferimento il piano schematico delle scalo è stata definita una matrice degli itinerari tra i diversi nodi del modello. Questa matrice è riportata in un file Excel e viene letta come input all'interno della simulazione.

	B7-FC	B7-FA	B7-FM	B2-FC	B2-FA	B2-FM	FA-B4	FC-B4	FM-B4	FA-B5	FC-B5	FM-B5	FC-F_DOG	F_DOG-FC	FC-R_AFA	R_AFA-FC	FA-F_DOG	F_DOG-FA	FA-F_MPR	F_MPR-FA	FA-A_PRI	A_PRI-FA	FA-F_FCA	F_FCA-FA	FM-M_SLU	M_SLU-FM	A_PRI-F_SOS	F_SOS-A_PRI	A_PRI-R_AFA	R_AFA-A_PRI	F_DOG-A_DOG	A_DOG-F_DOG	A_DOG-R_TI	R_TI-A_DOG	A_DOG-R_STO	A_STO-A_DOG	F_FCA-R_FCA	R_FCA-F_FCA	FM-F_OMV	F_OMV-FM	F_OMV-R_OMV	R_OMV-F_OMV
B7-FC	X	X	X	X			X	X	X		X																															
B7-FA	X	X	X	X			X		X		X																															
B7-FM	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X																													
B2-FC	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X																													
B2-FA			X	X	X	X			X	X	X	X																													
B2-FM			X	X	X	X			X																																
FA-B4	X	X	X	X			X	X	X		X																														
FC-B4	X			X			X	X	X		X																														
FM-B4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X																													
FA-B5			X	X	X				X	X	X	X																													
FC-B5	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X																													
FM-B5			X	X	X				X	X	X	X																													
FC-F_DOG													X	X	X	X																									
F_DOG-FC													X	X	X	X																									
FC-R_AFA													X	X	X	X	X	X																							
R_AFA-FC													X	X	X	X	X	X																							
FA-F_DOG															X	X	X	X																							
F_DOG-FA															X	X	X	X																							
FA-F_MPR																			X	X																					
F_MPR-FA																			X	X																					
FA-A_PRI																					X	X	X	X			X	X	X	X											
A_PRI-FA																					X	X	X	X			X	X	X	X											
FM-F_FCA																					X	X	X	X	X	X															
F_FCA-FM																					X	X	X	X	X	X															
FM-M_SLU																							X	X	X	X															
M_SLU-FM																							X	X	X	X															
A_PRI-F_SOS																					X	X					X	X	X	X											
F_SOS-A_PRI																					X	X					X	X	X	X											
A_PRI-R_AFA																					X	X					X	X	X	X											
R_AFA-A_PRI																					X	X					X	X	X	X											
F_DOG-A_DOG																															X	X	X	X	X	X					
A_DOG-F_DOG																															X	X	X	X	X	X					
A_DOG-R_TI																															X	X	X	X	X	X					
R_TI-A_DOG																															X	X	X	X	X	X					
A_DOG-R_STO																															X	X	X	X	X	X					
R_STO-A_DOG																															X	X	X	X	X	X					
F_FCA-R_FCA																																					X	X			
R_FCA-F_FCA																																					X	X			
FM-F_OMV																																							X	X		
F_OMV-FM																																							X	X		
F_OMV-R_OMV																																									X	X
R_OMV-F_OMV																																									X	X

Tabella 15: Matrice degli itinerari nel file di input (scenario 2020)

10.2.3 Traffico ferroviario

La ricostruzione del traffico ferroviario interno allo scalo è stato reso possibili grazie alla consultazione di alcuni report generati dalla piattaforma Integrata di Circolazione (PIC) di RFI. La piattaforma, oltre a fornire dati relativi al traffico sulla rete italiana in tempo reale, permette di visualizzare l'elenco di tutti i treni che hanno transitato (o dovranno transitare) attraverso una stazione in una determinata data. I report in questione sono di due diversi tipi:

- **Modulo M53**: indica la programmazione dei treni all'interno di una determinata stazione in un intervallo di più mesi;
- **Prospetto stazione**: elenca tutti i treni che attraversano la stazione in una certa giornata, può essere consultato nella versione "Programmato" o "Circolato".

I report riportano numerose informazioni riguardanti i singoli treni:

- Codice treno;
- Categoria;
- Punto di origine e destinazione;
- Orario di arrivo (programmato ed effettivo);
- Orario di partenza (programmato ed effettivo);
- Informazioni relative ad itinerari e manovre.

Al fine di costruire un file di input per la simulazione sono stati raggruppati i "Prospetti stazione" per l'intera settimana presa come riferimento. Per renderli adatti alla lettura da parte di Arena sono state eseguite alcune assunzioni: all'interno dei report solo alcuni treni presentano sia orari di arrivo che di partenza, la maggior parte presenta invece solo uno dei due. All'interno del modello Arena le entità necessitano di entrambe le informazioni, per questo motivo sono stati effettuati degli accorpamenti tra i treni del "Prospetto stazione". Innanzitutto i treni sono stati divisi per categoria, successivamente ogni treno di solo arrivo è stato accoppiato con un treno di sola partenza del giorno successivo.

Come emerso dal confronto con RFI questa soluzione non rappresenta fedelmente la realtà, in quanto un treno in arrivo potrebbe raggiungere uno dei raccordati, essere diviso in mezzi treni ed partire dallo scalo anche dopo diversi giorni con diversi codici. Questa approssimazione è resa necessaria dall'estrema difficoltà nella raccolta di ulteriori informazioni rispetto a quelle presenti all'interno del PIC.

La seguente matrice è riportata nel file Excel di input e riporta tutte le informazioni relative ai singoli treni presenti nel modello. Oltre alle informazioni relative ad arrivo e partenza programmati è presente il nodo obiettivo e la distinzione tra treni intermodali e tradizionali.

ID	GIORNO ARR	ORA ARR	MINUTI ARR	GIORNO PAR	ORA PAR	MINUTO PAR	NODO OBJ	INTERMODALE	CATEGORIA
1	13	2	3	13	5	10	51	1	TEC
2	13	6	53	14	23	42	34	1	TCS
3	13	13	52	14	15	28	51	0	MRI
4	13	13	52	13	14	40	51	0	MRI
5	13	17	44	13	20	8	34	1	TC
6	13	18	22	14	5	27	51	0	MRS
7	13	20	55	14	2	29	51	0	MRI
8	13	21	24	13	22	20	51	0	MRI
9	13	22	35	14	2	10	51	0	MRI
10	14	0	55	14	2	10	51	0	MRI
11	14	5	22	14	11	40	51	0	MRS
12	14	5	59	14	10	30	51	1	TEC
13	14	9	14	15	1	35	34	0	MRS

Tabella 16: Estratto dal file di input contenente le informazioni dei treni (scenario 2020)

10.2.4 Distribuzioni ritardi

Per stimare il ritardo dei treni è sempre stato fatto riferimento al report "Prospetto stazione: Circolato": al suo interno sono riportati gli scostamenti rispetto agli orari programmati. In questo modo, grazie allo strumento Input Analyzer di Arena è stato possibile stimare una distribuzione per i ritardi dei treni: il risultato è una Normale con media 29,7 minuti e varianza 81,9 minuti.

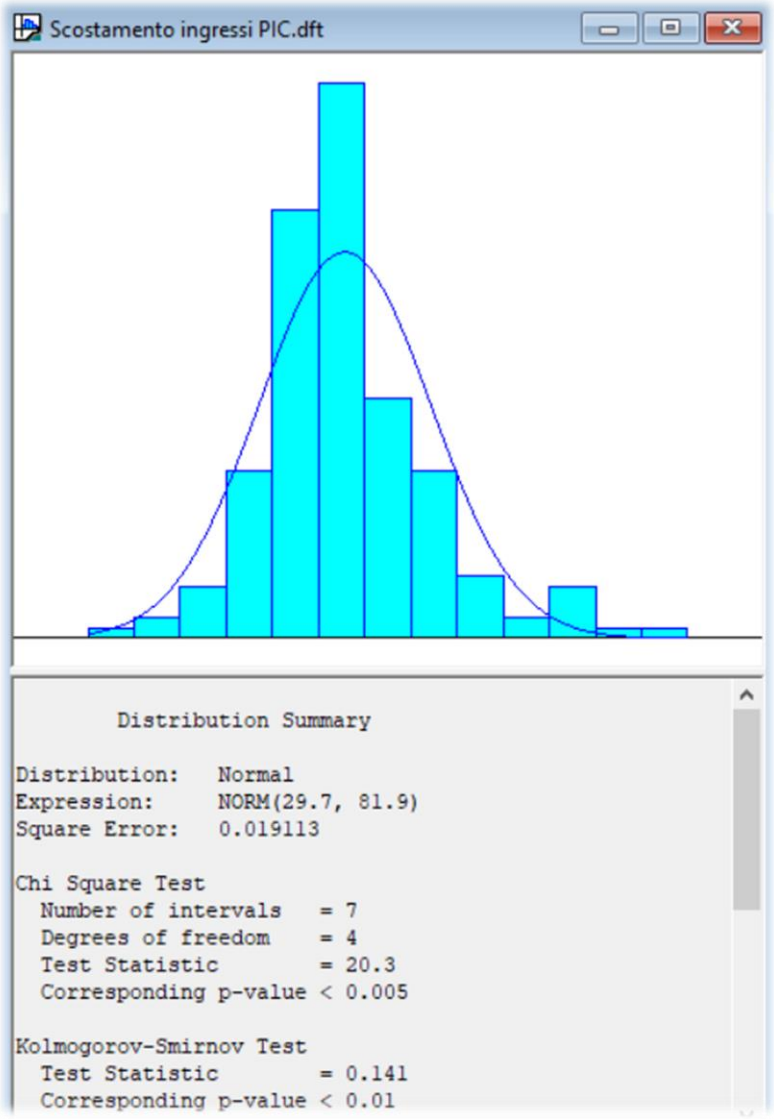


Figura 65: Schermata del tool Input Analyzer raffigurante la distribuzione degli scostamenti dei treni in entrata

Per rappresentare il ritardo dei tir è stato considerata la distribuzione utilizzata all'interno di uno studio di simulazione del Politecnico di Torino [24], cioè una Uniforme compresa tra 10 e 120 minuti.

10.2.5 Tempi operativi gru a portale

Tutti i dati presenti in letteratura relativi alle prestazioni delle gru a portale sono riportati come velocità: traslazione del carrello, scorrimento del portale, sollevamento e discesa. Il modulo Process di Arena necessita di un valore temporale per rappresentare l'operazione; per individuare quest'ultimo è stata realizzata un'apposita simulazione.

Il sistema rappresentato era quello di una singola gru impegnata nelle operazioni di carico e scarico delle UTI tra treno, piazzale e tir. Conoscendo le prestazioni della gru a portale e le distanze tra le diverse corsie è stato possibile stimare una Uniforme compresa tra 1,48 e 3,11 minuti. Questo è il tempo di solo prelievo o di solo deposito dell'UTI, per agganciare un'UTI e depositarla nella corretta posizione sono necessarie due operazioni.

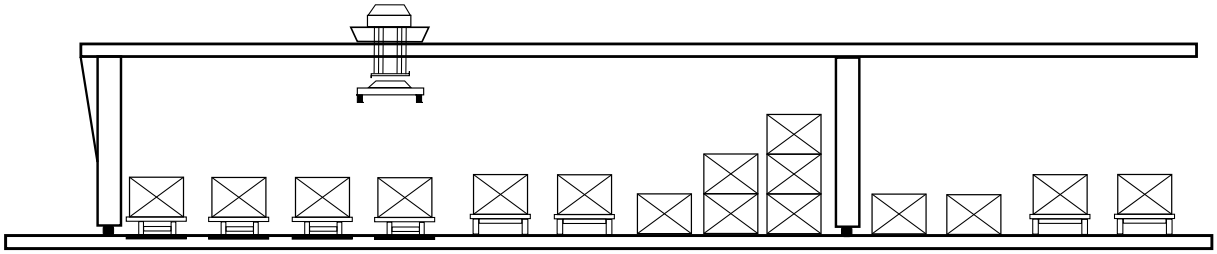


Figura 66: Sezione del terminal gateway progettato per la piattaforma logistica di Torino Orbassano (scenario 2030)

10.2.6 Operazioni nei terminal e mezzi di movimentazione

L'individuazione dei diversi mezzi di movimentazione presenti nei terminal e delle loro prestazioni è stata svolta attraverso visite sul campo e interviste con gli operatori.

10.2.7 Velocità veicoli

Sempre facendo riferimento allo studio del Politecnico di Torino è stata assunta una velocità di 15 km/h per i treni, mentre all'interno dei terminal i tir si sposteranno a 30 km/h.

10.3 Costruzione del modello

Il modello è stato strutturato in blocchi che rappresentano le diverse componenti del sistema; questi blocchi vengono attraversati dalle entità ed interagiscono con il codice VBA.

10.3.1 Avvio della simulazione e lettura file di input

All'inizio della simulazione vengono letti i dati presenti all'interno del file "Input.xlsx", all'interno del codice VBA sono create:

- Matrice degli itinerari (**mitinerari**), che racchiude la compatibilità tra le manovre interne allo scalo;
- Matrice dei treni (**mtreni**), dove sono riportati tutti i dati dei singoli treni;
- Variabili VBA per l'abbinamento tra i nodi e le Station Arena.

Dopodiché vengono inizializzate tutte le variabili interne ad Arena:

- **Itinerari**, matrice che svolgerà la funzione propria del segnalamento ferroviario, consentendo o negando l'accesso ai vari itinerari;
- **BinariLiberi**, matrice che racchiude il numero di binari per ogni nodo;
- **LunghezzaNodi**, matrice che racchiude il tempo di percorrenza dei nodi;
- **LunghezzaArchi**, matrice che racchiude il tempo di percorrenza degli archi.

10.3.2 Blocco creazione entità

All'interno di questo blocco vengono generate tutte le entità, sono assegnati gli attributi, i ritardi per poi entrare all'interno dello scalo.

Creazione entità e assegnazione attributi

All'istante 0 il modulo Create genera tante entità quanti sono i treni che transitano all'interno dello scalo nell'intera settimana; ogni entità attraversa il successivo modulo VBA dove viene effettuata l'assegnazione di tutti gli attributi:

- **IDtreno**, ossia il numero di treno corrente, utilizzato anche per scorrere la matrice dei treni;
- **GiornoIN,OreIN,MinutiIN**, dati relativi all'arrivo programmato del treno;
- **GiornoOUT,OreOUT,MinutiOUT**, dati relativi alla partenza programmata del treno;
- **NodoObiettivo**, il nodo all'interno dello scalo che il treno dovrà raggiungere per le operazioni di scarico o per la sosta;
- **TIPOtreno**, indica se il treno è intermodale;
- **UTIscarica**, numero di UTI da scaricare nel terminal;
- **UTIcarica**, numero di UTI da caricare all'interno del terminal.

Successivamente, in base al nodo obiettivo, vengono assegnati i dati relativi al percorso che il treno dovrà compiere all'interno dello scalo.

- La matrice **SeqItinerari** elenca i diversi "itinerari" da compiere per raggiungere il nodo obiettivo e successivamente uscire dal sistema. Ad esempio un treno con obiettivo il Fascio Arrivi deve effettuare prima l'itinerario B2-FA e successivamente l'itinerario FA-B5.
- Il costrutto **Sequenza** in Arena indica l'elenco dei moduli Station che l'entità dovrà attraversare. Continuando l'esempio precedente il treno dovrà attraversare le Station: B2, B2-FA, FA, FA-B5.
- **NodoAttesa**, questo attributo indica il nodo in cui il treno dovrà attendere l'orario di partenza per poi dirigersi verso la linea e uscire dallo scalo.

Creazione tir

Se il treno è destinato ad un terminal, e quindi dovrà effettuare delle operazioni di caricamento, attraverso un modulo Separate vengono create tante entità tir quante saranno le UTI da scaricare (UTIscarica).

Assegnazione ritardi

Attraverso un modulo Assign viene assegnato un ritardo (o anticipo) in base alla distribuzione NORM(29.7, 81.9) per i treni e UNIF(10,120) per i tir.

In base all'anticipo o al ritardo i veicoli saranno trattati in maniera differente:

- **Ritardo**: l'entità attende in un modulo Hold l'ora di arrivo programmato; in seguito, attraverso un modulo Process, si applica il ritardo estratto dalla distribuzione.
- **Anticipo**: tramite un modulo VBA vengono assegnati nuovi valori agli attributi GiornoIN, OreIN, MinutiIN in base all'anticipo estratto dalla distribuzione. Prima di sostare all'interno del modulo Hold attendendo l'orario di ingresso è necessario effettuare un controllo sulle altre entità in coda. Essendo in anticipo è possibile che dei treni arrivino prima di quelli che li precedevano secondo l'orario programmato, per questo attraverso dei blocchi di Search e Remove le entità in coda vengono nuovamente ordinate per orario di ingresso effettivo.

Non appena l'entità treno o tir viene rilasciata dal modulo Hold di attesa orario ingresso questa entra di fatto all'interno della piattaforma logistica.

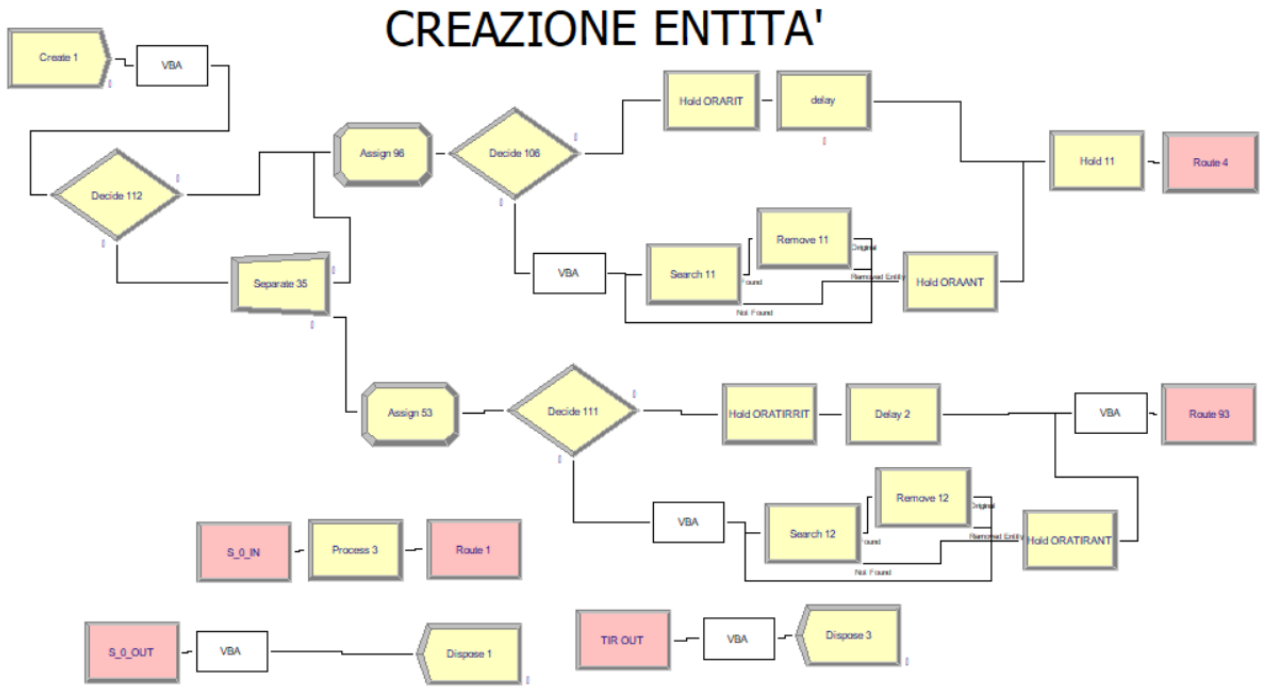


Figura 67: Schermata del blocco Arena "Creazione entità" (scenario 2020)

10.3.3 Circolazione ferroviaria

Quando un'entità treno viene destinata ad un nodo ferroviario sono eseguite due operazioni:

- L'attributo **Sequenza** viene aggiornato con la prossima Station da raggiungere.
- Leggendo la matrice **SeqItinerari** (con l'elenco degli itinerari da percorrere) viene aggiornato l'attributo **Itinerario** che contiene il numero del prossimo itinerario da percorrere. In seguito viene consultata la matrice degli itinerari (**mitnierari** in VBA) che indica le compatibilità tra gli itinerari e infine verranno segnati come occupati (nella matrice **Itinerari** in Arena) l'itinerario corrente e tutti quelli incompatibili.

Viene riportato un esempio relativo al caso di un'entità treno che dal Fascio Arrivi (FA) deve raggiungere le Aste Principali (A_PRI).

- L'attributo **Sequenza** indica come Station da raggiungere "FA_A_PRI" (arco) e successivamente "A_PRI" (nodo).
- L'attributo **Itinerario** indica che il prossimo itinerario da percorrere sarà quello "FA_A_PRI" (numero 21).
- Il codice VBA controlla **mitinerari** e verifica che "FA_A_PRI" e "A_PRI_FA" sono incompatibili (solo quelli che utilizzano lo stesso arco).
- All'interno della matrice **Itinerari** in Arena vengono segnati come "occupati" gli itinerari "FA_A_PRI" e "A_PRI_FA".

Queste operazioni vengono ripetute per il movimento dei treni tra tutti i nodi dello scalo.

10.3.4 Blocchi nodo ferroviario

I blocchi nodo ferroviario sono molto simili tra loro, le uniche differenze sono il numero di binari presenti al loro interno e, nel caso dei raccordi, l'attesa delle operazioni di caricamento del terminal.

Innanzitutto l'entità raggiunge il modulo Station indicato dalla sequenza, successivamente entra nel modulo VBA dove viene "liberato" l'itinerario appena completato: viene letta la matrice delle compatibilità nel codice Visual Basic e aggiornata quella in Arena con gli itinerari permessi (procedura VBA SbloccaItinerario).

Da qui l'entità viene indirizzata da un modulo Decide in uno dei binari liberi del nodo. Il binario all'interno del nodo è rappresentato da un modulo Hold e da un modulo Decide. Il modulo Hold trattiene l'entità fino a quando il successivo itinerario da effettuare sarà libero e sarà presente almeno un binario libero nel nodo di destinazione (inoltre nel caso di nodo di sosta il treno sarà trattenuto fino all'orario di partenza programmato) . Il modulo Decide è presente come ulteriore controllo per impedire a più treni di occupare contemporaneamente un itinerario.

L'entità entra quindi in un secondo modulo VBA in cui, attraverso la procedura BloccaItinerario, "occupa" l'itinerario. Attraverso un modulo di Process viene assegnato il tempo necessario ad attraversare l'intero nodo, un modulo Leave comunica che l'entità è uscita dal nodo e il modulo Route indirizza l'entità alla seguente Station.

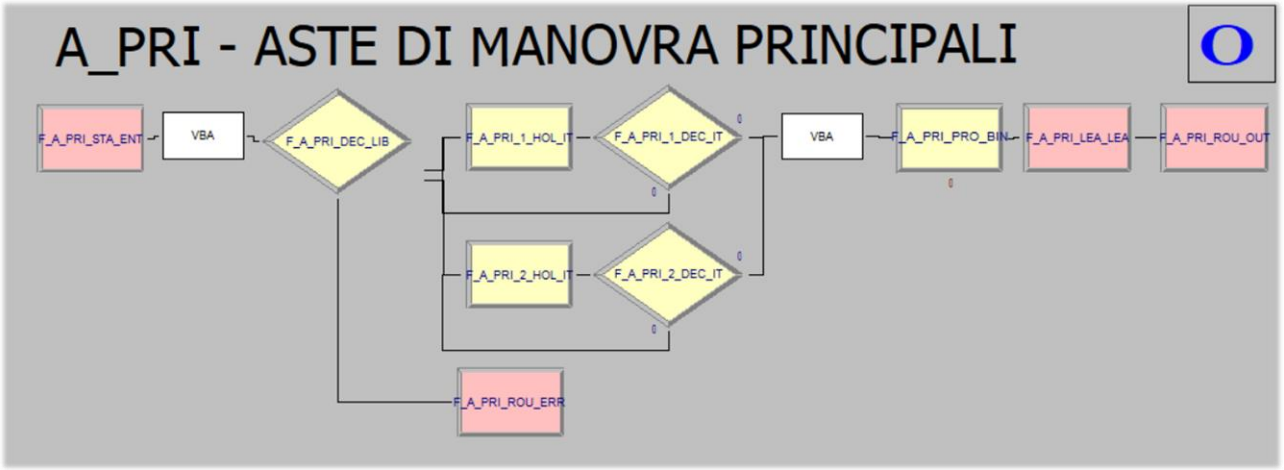


Figura 68: Schermata di un blocco Arena "Nodo ferroviario" (scenario 2020)

10.3.5 Blocchi arco ferroviario

I blocchi arco rappresentano i binari di collegamento tra i diversi nodi dello scalo ferroviario, allo stesso tempo questi collegamenti coincidono con gli itinerari dei treni.

Dopo aver lasciato un blocco nodo e aver occupato l'itinerario l'entità treno viene indirizzata (attraverso l'attributo Sequenza) al modulo Station del corrispondente blocco arco. Subito dopo l'entità raggiunge il modulo di Ruote che la dirige verso il nodo destinazione dell'itinerario dopo un'attesa legata alla lunghezza dei binari da percorrere.

Un singolo blocco arco rappresenta gli itinerari in entrambe le direzioni (ad esempio il blocco FA_A_PRI comprende sia l'itinerario FA - A_PRI che A_PRI - FA). I numeri riportati di fianco al blocco indicano la posizione all'interno della matrice Itinerari; durante la simulazione il riquadro sottostante indica se i due itinerari sono liberi o occupati.

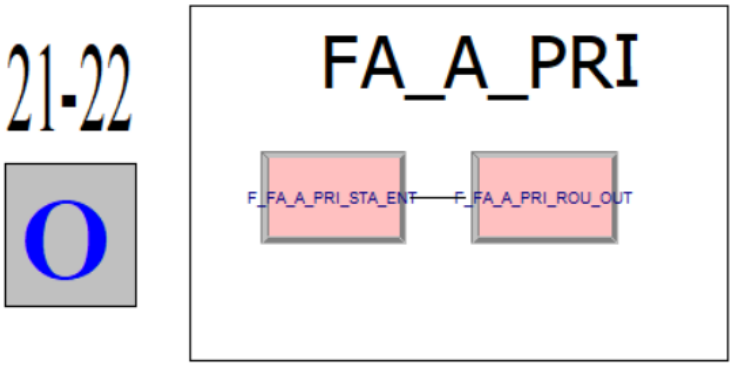


Figura 69: Schermata di un blocco Arena "Arco ferroviario" (scenario 2020)

10.3.6 Blocchi raccordi terminal

Come accennato nei paragrafi precedenti i raccordi sono trattati come gli altri blocchi nodo ferroviario: le differenze risiedono nella gestione dei binari operativi, dei binari di sosta e delle operazioni di carico.

Il blocco riportato come esempio modella il raccordo SITO e presenta al suo interno tutti i casi particolari: sono presenti due terminal (di cui uno intermodale mentre l'altro per il trasporto diffuso) e dei binari di sosta.

Essendo un nodo ferroviario l'entità treno raggiunge il modulo Station all'inizio del blocco, di seguito grazie al modulo VBA viene sbloccato l'itinerario.

Un primo modulo di Decide viene effettuata la scelta tra i due terminal in base all'attributo TIPOtreno: i treni intermodali raggiungeranno il terminal di TTC (Torino Terminal Container) mentre quelli tradizionali l'area SITO. Un secondo modulo Decide verifica se i binari operativi del terminal sono liberi, in caso contrario il treno verrà indirizzato verso uno dei binari di sosta. Una volta nel binario di sosta il treno attenderà che uno dei binari operativi diventi libero.

All'ingresso del binario operativo un modulo Assign aggiorna le variabili che saranno utilizzate dai blocchi "Operazioni terminal" per simulare le operazioni di carico: vengono passati il numero di UTI da caricare e scaricare oltre all'ID del treno sui binari operativi.

Un modulo di Hold trattiene l'entità treno fino al completamento delle operazioni di carico nel blocchi "Operazioni terminal", conclusa l'attività del terminal un altro modulo Assign salva il tempo delle operazioni di carico.

Prima di uscire dal binario operativo viene effettuato il controllo dell'itinerario attraverso i moduli Hold e Decide già descritti nei precedenti paragrafi. All'uscita dal binario operativo un modulo Assign aggiorna il numero di treni serviti, dopodiché l'entità procede attraverso i moduli di uscita dal blocco: il modulo VBA occupa l'itinerario, il modulo Process simula il passaggio sul binario, i moduli Leave e Route fanno uscire l'entità dal nodo e la indirizzano verso il successivo.

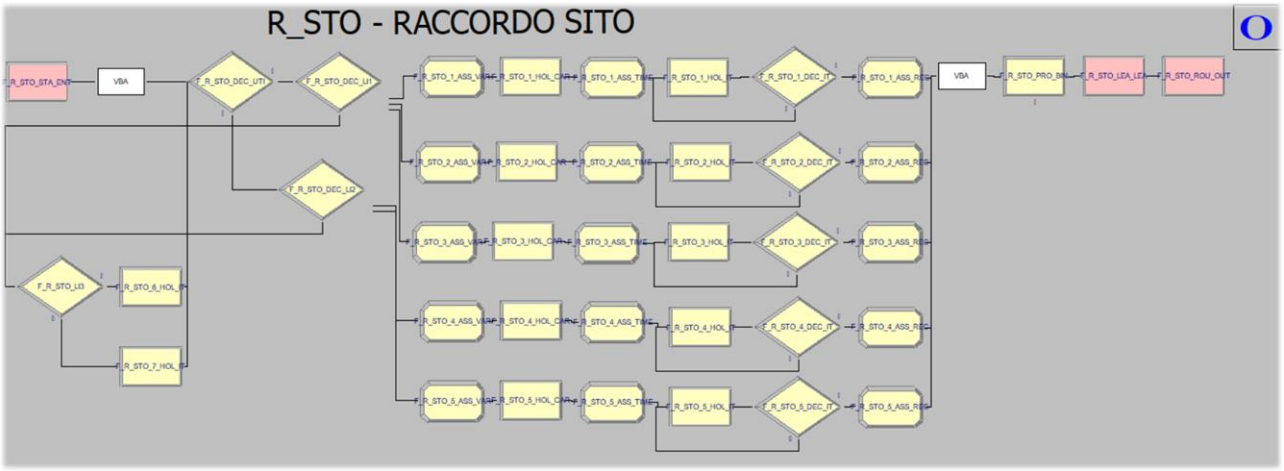


Figura 70: Schermata di un blocco Arena "Raccordo terminal" (scenario 2020)

10.3.7 Blocchi circolazione stradale

All'interno del blocco di creazione entità ad ogni tir viene indicato quale dei terminal presenti all'interno del sistema raggiungere; si assume che tutti i tir arrivino e lascino la piattaforma utilizzando la tangenziale. Le tre diverse aree della piattaforma logistica (Terminal Italia, SITO e AFA) sono raggiunte attraverso diversi percorsi stradali, per questo viene assegnato un opportuno tempo di percorrenza per raggiungere l'ingresso del terminal.

I blocchi di circolazione stradale cambiano molto in funzione della gestione delle operazioni di carico da parte dei diversi terminal, portando a due diverse soluzioni:

- Nel caso dell'autostrada ferroviaria di AFA e per il trasporto diffuso di SITO i tir vengono scaricati e ricaricati dal piazzale, quindi non è necessario che sia presente il treno sul binario operativo. Nel sistema reale, in caso di consistenti ritardi, potrebbe accadere che un tir raggiunga il terminal prima che il treno con l'UTI a lui destinata sia arrivato (o il contrario). Considerando che, in particolare nel caso di AFA trascorre sempre un intervallo di 1-2 giorni tra il carico/scarico dell'UTI tra tir e treno, risulta molto improbabile che la problematica sopra descritta possa verificarsi e quindi è stata presa la decisione di non rappresentare questo caso all'interno della simulazione.
- All'interno del terminal TTC, nel raccordo SITO, viene effettuato il trasbordo diretto dal tir al carro ferroviario. In questo modo viene risparmiato un tiro di gru ma è necessario che il tir sia presente nell'istante in cui si stanno effettuando le operazioni di carico/scarico del treno nel binario operativo.

In entrambi i casi l'entità tir raggiunge il modulo Station e subito dopo il modulo Process che simula l'attività del gate di ingresso, dove vengono controllati i documenti e viene ispezionata l'UTI.

Nel primo caso il tir si dirige direttamente alle corsie di carico/scarico dove vengono effettuate le operazioni (rappresentate da due moduli Process).

Nel secondo caso un modulo Decide controlla se il treno corrispondente al tir in esame si trova in uno dei binari operativi del terminal: in caso positivo un modulo di Route indirizza l'entità verso il blocco operazioni terminal, altrimenti il tir attenderà presso un modulo di Hold che simula un'area di sosta. Dopo aver effettuato le operazioni di carico nell'apposito blocco l'entità tir verrà ricondotta verso il blocco circolazione stradale (nel modulo Station) per poi attraversare un modulo Process per le operazioni di gate in uscita.

L'uscita dal blocco è simile in tutte e due le diverse situazioni: un modulo Assign aggiorna il numero di treni serviti dal terminal e un modulo di Route dirige il tir verso l'uscita dal sistema.

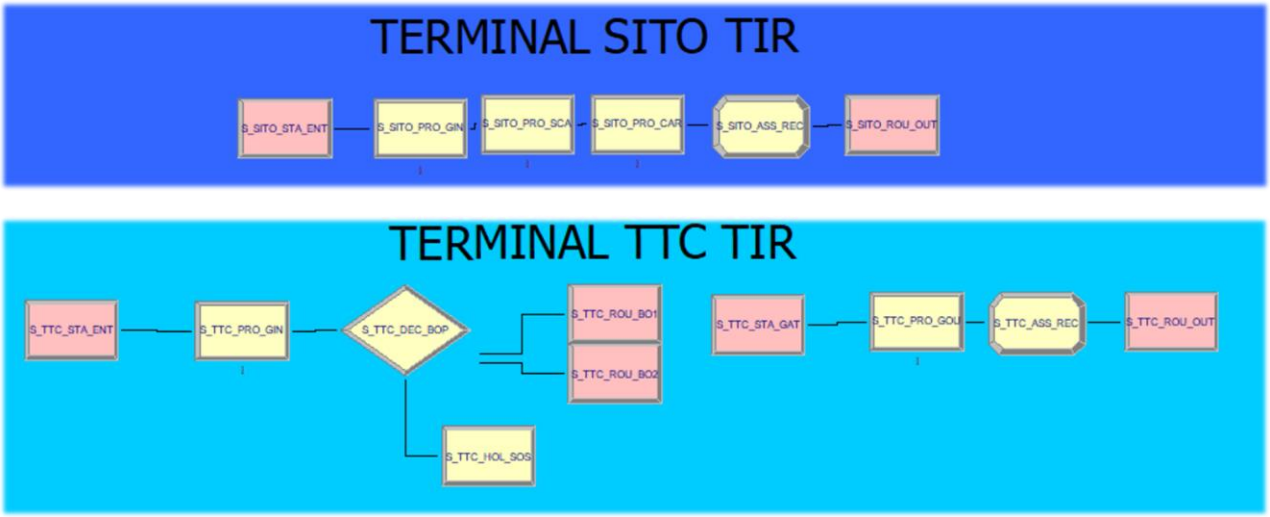


Figura 71: Schermata di due blocchi Arena "Circolazione stradale" (scenario 2020)

10.3.8 Blocchi operazioni terminal

Come i blocchi di circolazione stradale anche quelli che descrivono le operazioni dei terminal si differenziano tra quelli in cui viene effettuato il trasbordo diretto tra tir e treno e quelli in cui non avviene, in entrambi i casi è presente un blocco operazioni terminal per ogni binario operativo.

Un primo modulo di Create genera un'entità "token" all'istante 0 della simulazione; questa entità sosterà presso un modulo di Hold fino a quando un treno non si troverà sul binario operativo (blocchi raccordo terminal).

Quando si verifica questa condizione il token viene rilasciato, un modulo Process simula le azioni precedenti alle operazioni di carico (ad esempio la rotazione dei carri Modalohr nel terminal AFA). Subito dopo un modulo di Separate genera tante copie dell'entità quante sono le UTI da scaricare dal treno (valore passato da blocchi raccordo terminal). Un modulo Process effettua l'operazione di scarico per ognuna delle UTI; le risorse assegnate a questo modulo sono i mezzi di movimentazione dei diversi terminal (reach stacker, trattori, carrelli con forche a sbalzo). Un modulo di Assign aggiorna il numero di UTI presenti in nel piazzale del terminal e infine un modulo di Batch raggruppa tutte le entità segnando la fine dell'operazione di scarico del treno.

È stata presa la decisione di modellare anche il traffico diffuso utilizzando i moduli Separate, Batch e il numero di UTI. Ogni entità UTI è trattata come un singolo carro del trasporto diffuso considerando che l'UTI scelta come riferimento, il container da 40 piedi, occupa per intero un carro intermodale. Le prestazioni dei carrelli con forche a sbalzo che devono scaricare le merci pallettizzate dai carri sono quindi relative allo scarico di un intero carro.

Dopo lo scarico delle UTI dal treno i due casi si differenziano:

- Nel primo caso il token viene di nuovo diviso da un modulo Separate, le UTI caricate per mezzo dei mezzi di movimentazione nel modulo Process, il modulo Assign aggiorna il valore delle UTI nel piazzale e infine un modulo Batch raggruppa nuovamente le UTI caricate.
- Nel secondo caso il token raggiunge dei moduli Search e Remove che controllano la presenza di tir assegnati al treno corrente nel piazzale di sosta (blocco circolazione stradale), un modulo Hold trattiene il token fino al completamento delle operazioni di carico dei singoli tir. Le entità tir raggiungono il modulo Station e subito dopo il modulo Process dove avviene il trasbordo diretto tra tir e treno per mezzo dei reach stacker; un modulo Assign aggiorna il numero di UTI che devono essere scaricate. Un modulo di Process effettua il caricamento dell'UTI sul tir, un

modulo Assign aggiorna il numero di UTI presenti nel piazzale del terminal e un modulo di Ruote indirizza l'entità tir nuovamente verso il blocco di circolazione stradale.

La conclusione delle operazioni del terminal è comune a tutte e due le soluzioni: un modulo Process simula le operazioni al termine del carico delle UTI, poi un modulo di Hold sancisce il termine delle operazioni di carico. Nel blocco di raccordo terminal l'entità treno lascia il binario operativo e il token del blocco operazioni terminal torna in posizione di partenza attendendo un nuovo treno sul binario operativo.

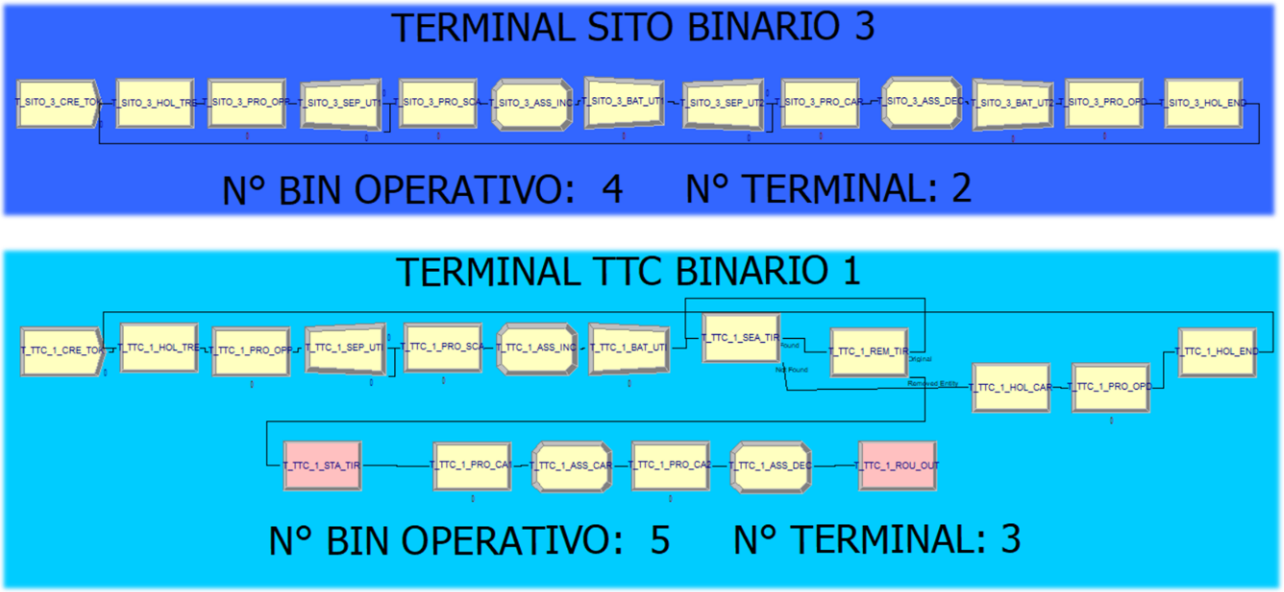


Figura 72: Schermata di due blocchi Arena "Operazioni terminal" (scenario 2020)

10.3.10 Termine della simulazione e scrittura file output

Quando un'entità treno lascia il sistema i suoi attributi vengono salvati all'interno della matrice mtreni in Visual Basic.

Al termine della replica il codice VBA stampa i seguenti risultati:

- I dati relativi ad ogni treno che ha attraversato lo scalo:
  - ID treno;
  - Giorno entrata;
  - Orario entrata programmato;
  - Orario entrata effettivo;
  - Scostamento entrata;
  - Giorno uscita;
  - Orario uscita programmato;
  - Orario uscita effettivo;
  - Scostamento uscita;
  - ID nodo obiettivo;
  - Tipologia di treno;
  - Tempo operazioni terminal.
- Le statistiche relative ai diversi terminal:
  - ID terminal;
  - Numero treni serviti;
  - Numero tir serviti;
  - Numero medio di UTI nel piazzale;
  - Tempo medio per le operazioni di carico di un treno;

    - Tempo medio per le operazioni di carico di un tir;
    - Numero medio di tir in coda;
    - Numero massimo di tir presenti nel terminal.
- Le statistiche relative ai diversi fasci ferroviari:
    - Nome fascio ferroviario;
    - Numero binari disponibili;
    - Numero medio di binari occupati;
    - Numero massimo di binari occupati.

Se all'interno della stessa simulazione vengono lanciate più repliche i risultati di ognuna saranno riportati in un foglio differente del file Excel di output.

10.3.11 Commento del codice VBA

Il codice in Visual Basic presenta sotto forma di commento un elenco delle caratteristiche implementate all'interno del modello e le assunzioni effettuate. In seguito sono dichiarate tutte le variabili globali utilizzate all'interno delle procedure e delle funzioni.

Nella prima parte sono elencate le diverse procedure relative alle fasi della simulazione o ai moduli VBA presenti nel modello (ad esempio "VBA_Block_117_Fire()"):

- **ModelLogic_RunBeginSimulation** e **ModelLogic_RunBeginReplication**: sono le procedure di avvio della simulazione e di ogni singola replica, effettuano la lettura del file input in Excel e inizializzano tutte le variabili del modello.
- Procedure dei **moduli VBA all'interno del blocco creazione entità**: assegnano gli attributi i ritardi alle entità treni e tir.
- Procedure dei **moduli VBA all'interno dei blocchi nodo ferroviario**: richiamano le procedure "SbloccaItinerario" e "BloccaItinerario", in più i nodi che collegano lo scalo alla linea salvano gli orari effettivi di arrivo o partenza.
- **ModelLogic_RunEndReplication**: la procedura di conclusione della replica, stampa i risultati nel file di output Excel.

Per permettere di interfacciare il codice VBA con i diversi costrutti che Arena mette a disposizione è necessario interagire con l'oggetto SIMAN. All'interno di questo oggetto sono contenuti i metodi per modificare i parametri di Arena durante l'esecuzione di una simulazione.

Per agevolare la scrittura del codice sono state definite diverse funzioni e procedure che vengono richiamate in diversi parti del programma:

- Funzioni di **Get**: ritornano il valore di un determinato parametro quali attributi, variabili, statistiche, sequenze. Come argomento viene passato per valore il nome del parametro.
- Procedure di **Set**: modificano il valore dei parametri elencati nelle funzioni di Get; come argomento sono passati per valore il nome del parametro e il nuovo valore da assegnare.
- Funzione **GetNextStation**: ritorna l'ID della prossima Station all'interno della sequenza dell'entità corrente. I moduli Route indirizzano le entità verso questa Station (che può essere sia di un nodo che di un arco ferroviario).
- Funzione **GetNextNodo**: differisce dalla precedente in quanto ritorna l'ID del prossimo nodo ferroviario che l'entità corrente dovrà raggiungere; Il risultato di questa funzione viene salvato nell'attributo "NextNodo".
- Procedura **UpdateNextNodo**: questa procedura aggiorna il valore del nodo destinazione dell'entità corrente. La sequenza di Station viene invece aggiornata automaticamente dai moduli di Arena.
- Procedura **UpdateItinerario**: al suo interno viene indicato il prossimo itinerario da percorrere. La matrice SeqItinerari contiene l'elenco degli itinerari da percorrere, l'attributo IndexItinerario

indica l'itinerario corrente: viene incrementato IndexItinerario e il valore corrispondete in SeqItinerari viene salvato nell'attributo Itinerario. Questo ultimo attributo viene utilizzato nei blocchi di Arena per il controllo.

- Procedure **BloccaItinerario** e **SbloccaItinerario**: queste procedure leggono l'attributo Itinerario dell'entità, verificano le compatibilità all'interno della matrice mitinerari e procedono aggiornando i valori della matrice Itinerari in Arena (la matrice che indica il "via libera" o "via impedita" alle entità). Dopodiché aggiornano i valori dei nodi seguenti e il numero di binari occupati del nodo ferroviario.

10.4 Verifica e validazione

Il modello è stato sviluppato secondo un approccio incrementale: ad un primo modello "base" sono state man mano aggiunte funzionalità. Prima di procedere con l'aggiunta successiva veniva verificato il corretto funzionamento della funzionalità corrente. In primo luogo è stata modellata la circolazione ferroviaria attraverso nodi e archi per mezzo del controllo della matrice degli itinerari, successivamente sono stati realizzati i collegamenti in VBA per la lettura/scrittura dei file Excel e infine sono stati aggiunti i blocchi per le operazioni dei terminal e la circolazione ferroviaria.

Per effettuare la validazione del modello lo strumento "Animazione" contenuto in Arena si è rivelato di estrema utilità. Questa Toolbar permette di rappresentare visivamente il movimento delle entità tra i diversi moduli Station, individuando facilmente eventuali incongruenze rispetto alla circolazione ferroviaria del sistema reale (come ad esempio collegamenti errati, più treni sullo stesso arco…).

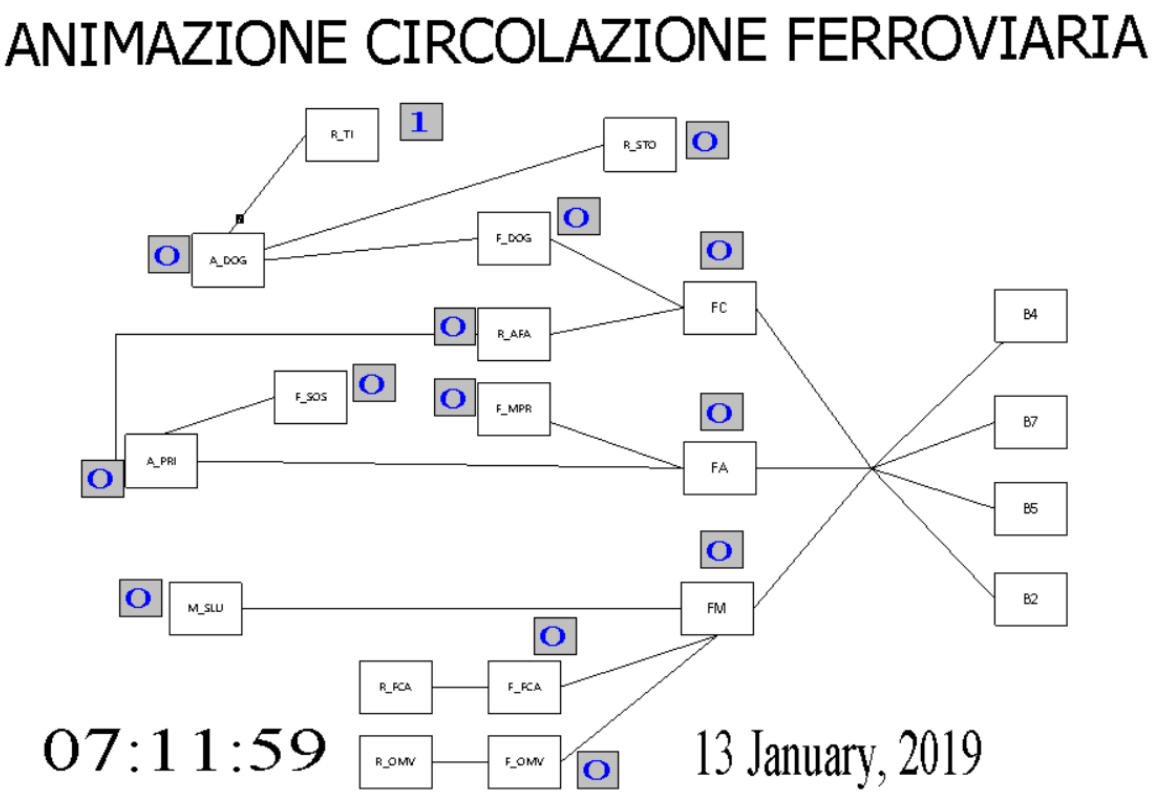


Figura 73: Schermata durante la simulazione del riquadro "Animazione circolazione ferroviaria" (scenario 2020)

Anche l'anteprima dei valori delle matrice Itinerari (riportata di fianco al blocco arco corrispondente) ha permesso di controllare che il sistema di segnalamento del modello rispecchiasse quello reale.

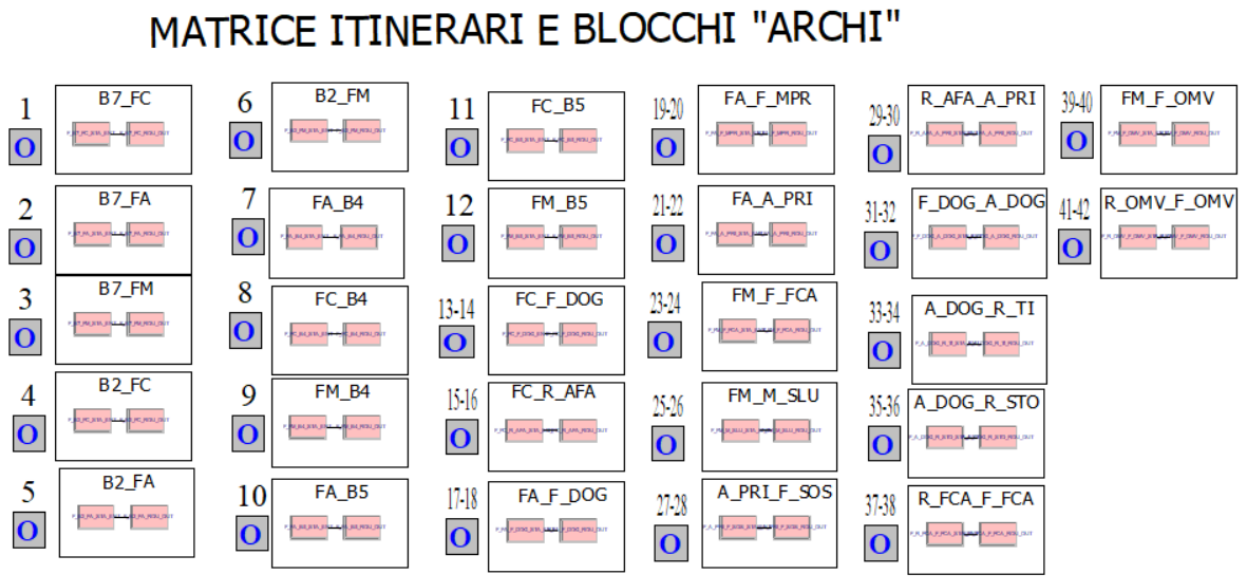


Figura 74: Schermata dei blocchi Arena "Arco ferroviario" (scenario 2020)

La validazione dei risultati relativi agli orari di arrivo e di partenza effettivi è stata effettuando un confronto tra quelli reali riportati nei report "Prospetto Stazione" e quelli generati all'interno del modello utilizzando il tool di Arena Input Analyzer.

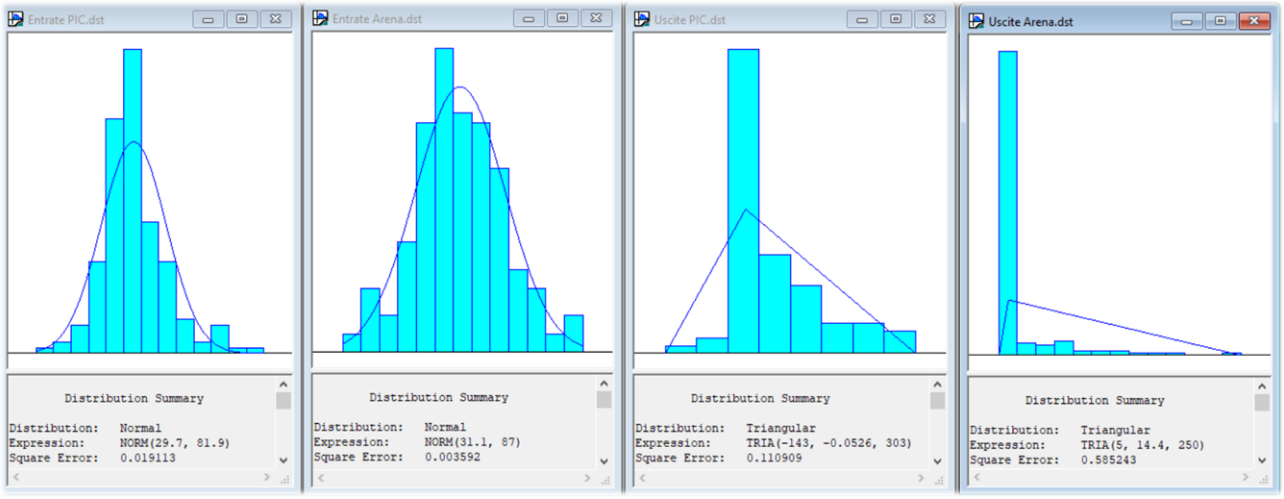


Figura 75: Schermate del tool Input Analyzer di Arena relative agli scostamenti tra entrate e uscite programmate/effettive. In ordine da sinistra: Entrate PIC, Entrate Arena, Uscite PIC, Uscite Arena (scenario 2020)

Mettendo a confronto gli scostamenti per i treni in entrata risulta evidente quanto il modello in Arena ricalchi fedelmente la distribuzione reale. Per quanto riguarda gli scostamenti in uscita non risulta così immediata una somiglianza tra le due distribuzioni; questo perché nel modello Arena non è previsto che un treno parta in anticipo rispetto all'orario programmato di partenza.

10.5 Definizione scenari e analisi degli output

10.5.1 Scenari simulati

I diversi scenari modellati presentano delle differenze riguardanti la domanda di traffico ferroviario e le infrastrutture realizzate:

- **Scenario 2020 (Fase 0):** il modello rappresenta la situazione attuale del sistema piattaforma logistica; il traffico ferroviario è quello descritto nei report PIC e l'infrastruttura quella presente oggi a Torino Orbassano. Vengono considerati treni composti da 20 carri.
- **Scenario 2022 (Fase 1):** il modello rappresenta i primi interventi già in fase di realizzazione, come l'adeguamento di modulo dei binari (750 m) e il nuovo collegamento della linea SFM5 alla fermata di Orbassano San Luigi. Inoltre, come da proposta progettuale, è stato previsto il raddoppio della piattaforma Modalohr in modo tale da poter offrire maggiori opportunità di crescita al trasporto intermodale fino alla completamento della Nuova Linea Torino Lione. Vengono considerati treni composti da 20 carri.
- **Scenario 2030 (Fase 2):** lo scenario 2030 è caratterizzato in primo luogo dall'attraversamento della nuova linea Torino Lione che permetterà allo scalo di raggiungere la piena operatività. Verranno realizzati i collegamenti tra la nuova linea e gli impianti esistenti, inoltre verrà creato un nuovo terminal gateway servito da gru a portale per soddisfare i nuovi flussi di trasporto merci. Vengono considerati treni composti da 35 carri, nel terminal gateway viene scaricata solo parte delle UTI presenti sul treno.

10.5.2 Orizzonte temporale

L'orizzonte temporale scelto per la simulazione all'interno dei primi due scenari è di una settimana, con i terminal operativi e il traffico aperto 24 ore al giorno. Questa scelta è dovuta al fatto che, esclusi periodi di punta o durante particolari festività, il traffico ferroviario si ripete sostanzialmente invariato ogni settimana. La settimana presa in esame è quella del 16/01/2019, giorno di riferimento dello studio del Politecnico di Torino [18] preso utilizzato come fonte in diversi capitoli della tesi.

Lo scenario 2030 obbliga ad effettuare scelte differenti: l'elevato numero di treni presenti nel sistema in una singola giornata rende particolarmente onerosa in termini di tempo di processo la simulazione di un'intera settimana. Per questo motivo il nuovo orizzonte temporale è stato limitato ad una singola giornata che rappresenterà i nuovi traffici attesi per il 2030.

10.5.3 Numero di repliche

Il calcolo del numero di repliche necessarie per non ottenere risultati distorti è stato effettuato utilizzando il Two-steps method. Il parametro considerato è il tempo medio di servizio di un treno all'interno del terminal gateway. L'obiettivo dell'analisi è la determinazione del numero di repliche n affinché i valori dei parametri risultanti dalla simulazione siano compresi nell'intervallo di confidenza $\bar{Y}\pm c$, dove $\bar{Y}$ è la media campionaria del parametro e c l'ampiezza dell'intervallo. Sono state quindi eseguite 10 repliche indipendenti da cui si sono ottenuti i valori dei parametri con rispettive medie e varianze riportati in Tabella.

Numero repliche	Tempo di servizio terminal gateway
1	131
2	136
3	101,11
4	129,33
5	111,15
6	155
7	129,66
8	134,66
9	121,77
10	121,77
Media	127,18
Varianza	212,81

Tabella 17: Tempi di servizio del terminal gateway in una simulazione pilota (scenario 2030)

Assumendo un valore del parametro c pari a 10 dalla formula

$$n = (\frac{t_{n-1,1-\frac{\alpha}{2}}}{c^*})^2 * S^2$$

si è ottenuto un valore di n pari a 16,39, motivo per cui per tutte le analisi successive verranno effettuate 17 repliche.

10.5.4 Analisi del transitorio

All'inizio della simulazione non sono presenti entità treni all'interno del modello; questo però non rispecchia il sistema reale in quanto questa condizione non è verosimile. Il periodo di transitorio individuato consiste in un'intera giornata: dato che l'arrivo e partenza dei treni sono distanziati mediamente di un giorno è sufficiente attendere il secondo giorno di simulazione perché il sistema sia a regime. Per eliminare il transitorio la simulazione viene avviata con un giorno di anticipo (Domenica) e risultati tengono conto solo del successivo intervallo Lunedì-Domenica.

10.6 Analisi dei risultati

10.6.1 Scenario 2020 (Fase 0)

SCENARIO 2020					
Terminal	Treni serviti	Tir serviti	N_UTI medio	Tempo medio scarico treno	Tempo medio scarico tir
AFA	25	500	50,9	54,6	5,0
SITO	5	100	52,6	497,8	140,1
TTC	5	100	50,7	108,7	33,8
TI	6	120	50,6	112,0	30,4
DB	9	180	53,8	439,6	350,3

Nome fascio	N_Binari	Media_B_O	Massimo_B_O
R_AFA	2	0,3	2
F_DOG	8	0,9	4
A_DOG	1	0,0	1
R_STO	7	0,3	2
R_TI	10	0,4	3
FA	19	4,8	14
FC	1	0,1	1

Tabella 18: Output della simulazione (scenario 2020)

I risultati delle scenario 2020 ben rappresentano la situazione attuale all'interno delle piattaforma logistica di Torino Orbassano: i terminal riescono a gestire i treni a loro destinati e i rispettivi mezzi stradali e i nodi dello scalo ferroviario reggono senza nessun problema il traffico. Durante la settimana in esame lo scalo ferroviario è attraversato da 176 treni merci destinati ai terminal o alla sosta all'interno del Fascio Arrivi.

I nodi più utilizzati sono il Fascio Arrivi (con un picco di 14 binari occupati su 19 disponibili) e il raccordo AFA in cui possono essere presenti più treni per volta. Attualmente la presenza di più treni in

AFA viene gestita per mezzo di una manovra in cui uno dei due treni viene messo in attesa presso uno dei binari del Fascio Dogana, ma è già in corso di realizzazione un nuovo binario di sosta all'interno del terminal che consentirà la presenza di un treno aggiuntivo negli orari di punta.

Il nodo più critico risulta il Fascio Container, attraverso il quale transitano tutti i treni destinati al Fascio Dogana, al terminal AFA, Terminal Italia e SITO. Un'interruzione di questo nodo potrebbe mettere in difficoltà la circolazione in tutto lo scalo, rendendo necessarie delle manovre dal Fascio Arrivi al Fascio Dogana per raggiungere i raccordati.

10.6.2 Scenario 2022 (Fase 1)

SCENARIO 2022					
Terminal	Treni serviti	Tir serviti	N_UTI medio	Tempo medio scarico treno	Tempo medio scarico tir
AFA	50	1000	51,7	58,7	5,0
SITO	5	100	52,1	515,9	132,4
TTC	5	100	50,5	111,0	29,3
TI	6	120	50,4	104,3	32,7
DB	9	180	52,9	439,9	299,1

Nome fascio	N_Binari	Media_B_O	Massimo_B_O
R_AFA	2	0,2	2
F_DOG	8	0,8	4
A_DOG	1	0,0	1
R_STO	7	0,2	2
R_TI	10	0,3	3
FA	19	3,8	14
FC	1	0,0	1
FM	2	0,3	2
F_MPR	3	0,1	1
M_SLU	2	0,2	2

Tabella 19: Output della simulazione (scenario 2022)

All'interno dello scenario 2022 le principali aggiunte sono state l'attivazione della fermata San Luigi Orbassano (per cui è stato stimato un traffico di un treno ogni mezz'ora) e il raddoppio della piattaforma Modalohr all'interno di AFA (per cui è stato ipotizzato un traffico similare a quello del binario già esistente).

Ai treni dello scenario 2020 sono stati aggiunti quelli destinati al secondo binario Modalohr (4-5 coppie al giorno) e i alla linea SFM5 (uno ogni mezz'ora).

Il sistema non presenta particolari differenze di prestazione rispetto al primo scenario, gestendo con facilità i nuovi flussi.

10.6.3 Scenario 2030 (Fase 2)

SCENARIO 2030							
Terminal	Treni serviti	Tir serviti	N_UTI medio	Tempo medio scarico treno	Tempo medio scarico tir	Numero medio di tir in coda	Numero massimo di tir nel terminal
AFA	3	105	52,1	78,6	5,0	0,4	7
SITO	2	105	64,1	628,4	365,9	20,7	70
TTC	3	105	55,5	127,7	35,4	2,6	35
TI	3	105	54,4	106,3	40,8	2,3	35
DB	2	70	58,7	492,9	286,7	11,3	35
GAT	9	180	59,8	124,7	31,6	3,9	41

Nome fascio	N_Binari	Media_B_O	Massimo_B_O
R_AFA	2	0,3	2
F_DOG	8	1,0	3
A_DOG	1	0,0	1
R_STO	7	1,3	4
R_TI	10	0,7	2
A_PRI	2	0,1	2
F_FCA	4	0,7	2
FA	19	2,6	6
FC	1	0,0	1
FM	2	0,2	2
R_AFA2	1	0,0	0
M_SLU	2	0,5	2
R_GAT	7	0,8	3
F_OMV	1	0,2	1

Tabella 20: Output della simulazione (scenario 2030)

Lo scenario 2030 comporta sostanziali modifiche in termini di circolazione ferroviaria, flussi di traffico e realizzazione di nuove infrastrutture. Come descritto dagli studi analizzati nel sesto capitolo [18] è stato stimato un traffico di circa 40 treni in ingresso e 40 in uscita; a questi sono stati aggiunti i treni della linea SFM5 raggiungendo la quota di 60 treni giornalieri.

All'interno di questo scenario opera il nuovo terminal gateway: per mettere alla prova l'infrastruttura sono stati destinati a questo terminal 9 treni ogni giorno (il valore limite è di 12 treni, in quanto sono presenti 4 binari operativi con due gru a portale e coefficiente di dinamicità 3). Il nuovo terminal riesce a gestire questo traffico imponente con tempi di servizio di poco più di due ore (la media delle 17 repliche è di 124,7 minuti), senza generare ritardi ai treni ed eccessive code ai veicoli stradali.

In media sono presenti 3,9 tir in coda che impiegano 31,6 minuti per le operazioni di carico. Il valore è più alto rispetto a quelli ottenuti dallo studio sul teminal gateway di Alessandria [24] (tra 5 e 25 minuti): questo è dovuto al fatto che nel modello descritto è stata inserita la distribuzione del ritardo dei treni. Nel caso di ritardo del treno alcuni dei tir raggiungeranno il terminal e si metteranno in attesa nel parcheggio; all'arrivo del treno tutti i tir assegnati si dirigeranno contemporaneamente verso l'area di

carico. Come evidenziato dagli articoli citati e dai risultati delle simulazioni del modello costruito un arrivo più "distribuito" degli autocarri migliora i tempi di servizio e riduce le code.

Anche negli altri terminal è stato simulato un aumento dei treni serviti e dei mezzi di movimentazione, con l'unica eccezione di AFA. Con la Nuova Linea e il conseguente aumento di sagoma il traffico generato dalla piattaforma Modalohr si sposterà gradualmente verso il terminal gateway.

Per i diversi terminal presenti nella piattaforma è stato raccolto il dato relativo al numero massimo di tir presenti all'interno dell'area. Questo numero è costituito dal numero di stalli occupati nei parcheggi a cui è sommato il numero di tir nelle aree di carico.

All'interno del terminal AFA gli stalli sono occupati principalmente dai semirimorchi in attesa, quindi ai tir presenti devono anche essere aggiunte le UTI: in questo modo si raggiunge un valore di circa 60 stalli occupati (ipotizzando un valore di partenza di 50 UTI). Con 114 stalli previsti già nello scenario 2022 l'area di parcheggio non raggiungerà il livello di saturazione.

Il terminal gateway presenta picchi di circa 41 veicoli nello scenario 2030 e di 82 nel caso di guasto della gru a portale (descritto in seguito). Il parcheggio progettato conta 86 stalli e quindi è in grado di assorbire l'elevato numero di veicoli in attesa all'interno dello scenario con un'unica gru a portale attiva.

10.6.4 Analisi dei rischi

L'analisi dei rischi si concentra sul terminal gateway, in quanto diventerà la realtà più dinamica all'interno della piattaforma logistica e verrà attraversato da imponenti traffici a partire dal 2030:

- **Guasti ai collegamenti con il terminal gateway**: i collegamenti critici sono quelli tra lo scalo ferroviario e la linea (la cui interruzione paralizzerebbe di fatto tutta la piattaforma logistica) e il collegamento tra il Fascio Arrivi e il terminal gateway. Essendo un fascio di binari tronco questo rappresenta l'unico modo per raggiungere il terminal.
- **Guasti ai binari operativi**: in base ai risultati della simulazione dello scenario 2030 risulta che 3 dei 4 binari operativi sono sufficienti per servire 9 treni al giorno; si avrebbero rallentamenti nelle operazioni di carico dei treni con l'interruzione di 2 o più binari operativi.
- **Guasti alle gru a portale**: partendo dal presupposto che lo stop forzato di entrambe le gru a portale fermerebbe completamente le operazioni del terminal è stata effettuata una simulazione per evidenziare il comportamento del sistema nel caso si guasti una singola gru a portale. La simulazione mostra che una gru a portale riuscirebbe a servire i 9 treni destinati al terminal, ma si verrebbero a creare delle code imponenti lato strada: il tempo medio per le operazioni di carico di un tir da 31 a 200 minuti, con una media di circa 25 tir in coda e picchi di più di 80 veicoli presenti nel terminal.

SCENARIO 2030 con fermo gru a portale							
Terminal	Treni serviti	Tir serviti	N_UTI medio	Tempo medio scarico treno	Tempo medio scarico tir	Numero medio di tir in coda	Numero massimo di tir nel terminal
AFA	3	105	52,1	78,9	5,0	0,4	7
SITO	2	105	64,1	625,5	365,6	20,7	70
TTC	3	105	55,5	127,5	35,7	2,6	35
TI	3	105	54,4	106,6	40,5	2,3	35
DB	2	70	58,6	491,3	285,6	11,3	35
GAT	9	180	79,1	166,8	200,9	24,3	82

Tabella 21: Output della simulazione (scenario 2030 con fermo gru a portale)

11. Conclusioni

Dall'analisi della piattaforma logistica di Torino-Orbassano svolta in questo elaborato, sono emerse sia le criticità che le possibilità di crescita della stessa. La realizzazione della nuova linea Torino-Lione ed il raggiungimento della piena operatività del porto di Vado Ligure rappresentano una grande occasione per lo sviluppo commerciale del Nord Ovest e per l'ampliamento del relativo bacino d'influenza. In virtù di ciò, la piattaforma logistica di Torino-Orbassano, proiettando lo sguardo al 2030, dovrà essere in grado di gestire traffici indicativamente pari ad 8 milioni di tonnellate di merce all'anno.

Per incentivare lo sviluppo del combinato strada-rotaia, in questa sede si è deciso di includere nello scenario denominato "Fase 1", con orizzonte temporale 2022, il raddoppio della piattaforma Modalohr di AFA, la cui ragion d'essere risiede nel rispetto della sagoma ferroviaria esistente nel traforo del Frejus in esercizio. In questo modo il trasporto combinato potrà continuare la sua espansione anche con gli attuali limiti di sagoma della Linea Storica. All'interno della simulazione è stato verificato che il secondo binario Modalohr sarà in grado di ospitare 4-5 coppie di treni al giorno, come quello attualmente in attività.

Per rispondere alle esigenze della piattaforma al 2030, in sede progettuale è stata prevista la realizzazione di un terminal per il trasporto combinato strada-rotaia anche con funzione gateway (treno-treno), che si aggiungerà alle realtà presenti. Il nuovo terminal vanterà al suo interno 4 binari operativi serviti da 2 gru a portale in serie e sarà in grado di servire almeno fino a 12 coppie di treni al giorno, per un totale di 2,5 milioni di tonnellate di merce movimentata all'anno, indicativamente. Operando sul coefficiente di dinamicità ed eventualmente su un'aggiunta di gru a portale in serie, motivabile dai treni più lunghi (700-750 m) ma non analizzata in questo contesto, si potrà assecondare un'eventuale incremento di traffico, pur dovendo verificare la possibilità di garantire le condizioni di qualità del servizio.

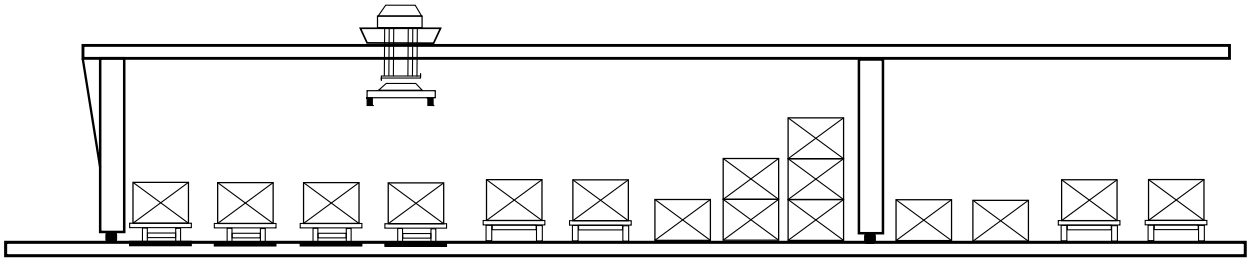


Figura 76: Sezione del terminal gateway progettato per la piattaforma logistica di Torino Orbassano (scenario 2030)

Lo scenario 2030 della simulazione ha evidenziato che per un traffico di 9 coppie di treni al giorno, il terminal con funzione gateway presenta un tempo medio di servizio treno pari a 124,7 minuti. Per essere in grado di servire 12 coppie al giorno il tempo medio di servizio dovrebbe essere inferiore a 120 minuti, dunque si riscontrerebbero ritardi e disservizi. Ciò è motivato dal fatto che nella simulazione la distribuzione che regola le prestazioni della gru a portale è stata stimata ipotizzando un movimento randomico dell'apparato nelle operazioni di carico/scarico. Nella realtà gli operatori dei terminal cercano di ottimizzare questi movimenti e quindi i tempi di servizio reali dei treni saranno minori. Per quanto riguarda i veicoli stradali il tempo di servizio è in media di 31,6 minuti, con una coda media di 3,9 tir nel terminal.

Un rischio per l'operatività del terminal con funzione gateway è rappresentato dalla possibilità di guasto di una delle 2 gru a portale; in queste condizioni si genererebbero grossi ritardi per i veicoli stradali con una media di 24,3 tir in coda. Anche sostituire temporaneamente la gru a portale guasta con gru semoventi frontali non risulta essere una soluzione praticabile, in quanto i reach stacker si troverebbero ad occupare la corsia di carico dei veicoli stradali e sarebbero in grado di processare un solo binario operativo. Si propone come soluzione tampone al problema, la creazione di una banchina pavimentata in corrispondenza di uno dei binari si sosta, situati in prossimità del terminal gateway. La banchina sarebbe raggiungibile dal piazzale posteriore e mediante l'utilizzo dei reach stacker messi a disposizione del terminal, nelle condizioni di pura emergenza, si riuscirebbe a trasformare un binario di sosta in binario promiscuo.

Dall'analisi degli output, lo scalo ferroviario nel 2030 sarà perfettamente in grado di gestire l'aumento del traffico merci e quello passeggeri derivante dalla linea SFM5. Dalla simulazione emerge che il fascio binari più utilizzato sarà il Fascio Arrivi, ma per merito dell'elevato numero di binari presenti al suo interno, in nessuno degli scenari ipotizzati si è verificata la sua completa saturazione.

Dal punto di vista della circolazione stradale si è assolutamente lontani dalla congestione dei collegamenti presenti all'interno della piattaforma logistica. Essi appartenendo alle categorie F1 ed F2, se soggetti a flussi pari a 450 autov. eq/ora sono in grado di offrire un livello di servizio C, ovvero un valore lontano dalla congestione della viabilità. Nel caso in questione sia il collegamento progettato per AFA che quello a servizio del terminal gateway sono ad uso esclusivo della piattaforma logistica. Senza dubbio l'AFA vede affluire un numero maggiore di tir, praticando il solo trasporto combinato strada-rotaia. A pieno regime si prospetta che i due binari operativi saranno in grado di accogliere 2000 tir a settimana. Ipotizzando che gli arrivi siano concentrati su 5 giorni lavorativi a settimana, ipotesi questa molto cautelativa e sfruttando un efficace sistema di prenotazioni, mediamente si avranno 17 tir che percorreranno il raccordo in direzione entrante. Ad essi vanno aggiunge 6 automobili all'ora dirette verso gli uffici dell'AFA, valore anche questo ipotizzato. In totale, quindi, si ottiene un flusso veicolare pari a 23 veicoli l'ora. Sfruttando le relazioni di conversione contenute nel manuale HCM è ricavabile un flusso equivalente entrante pari a 34 autov. eq/ora. Ciò fa capire come una rete stradale ad uso specifico, accompagnata da un adeguato sistema di prenotazioni degli arrivi rende praticamente impossibile la formazione di code in ingresso. Per quanto concerne le uscite dal terminal è essenziale che siano regolamentate in maniera più regolare possibile, in modo da evitare picchi in uscita e conseguenti ingorghi all'ingresso della tangenziale. Un sistema ITS di prenotazioni efficace deve cercare di evitare l'arrivo e l'uscita dei tir in corrispondenza degli orari di punta della tangenziale, al fine evitare congestioni.

In conclusione lo sviluppo della piattaforma logistica di Torino-Orbassano rappresenta una concreta opportunità di sviluppo sia per l'economia del Nord Ovest che dell'intero Paese. La sua è una posizione strategica, trovandosi all'incrocio tra i corridoi europei: Nord Sud e Mediterraneo. Cogliere questa opportunità è di imprescindibile importanza per garantire un futuro più florido alla nostra economia e allo stesso tempo per favorire il cammino dell'Unione Europea verso un sistema produttivo più consapevole e sostenibile, in termini di traffico, sicurezza, de-carbonizzazione e conseguenti emissioni in atmosfera.

Bibliografia

[1] B. Dalla Chiara, «Slide del corso: "Sistemi di trasporto e logistica esterna",» 2019.

[2] B. Dalla Chiara, Sistemi di trasporto intermodali, 2015.

[3] «Definizione reti TEN-T,» [Online]. Available: http://www.mit.gov.it.

[4] P. Balistreri, «Stati Generali della Logistica del Nord-Ovest,» 2019.

[5] RFI, «Corridoio Scandinavo Mediterraneo,» [Online]. Available: http://www.rfi.it.

[6] Commissione europea, «Quadro per le politiche dell'energia e del clima per il periodo dal 2020 al 2030,» 2014.

[7] European Environment Agency , «Progress of EU transport sector towards its environment and climate objectives,» 2018.

[8] Commissione europea, «Libro bianco sui trasporti,» 2011.

[9] Paesi arco alpino; Comunità Europea, «Convenzione delle Alpi,» 1991.

[10] F. Quattroccolo, «Intermodale24-rail,» 2018. [Online]. Available: http://www.intermodale24-rail.net/.

[11] Parlamento italiano, «Disegno di legge A.S. n. 3257: Legge quadro in materia di interporti e di piattaforme logistiche territoriali,» 2012.

[12] Osservatorio Torino-Lione, «Quaderno 15: Transizione ecologica del sistema dei trasporti,» 2019.

[13] Osservatorio Torino-Lione, «Quaderno 10: Verifica del modello di esercizio,» 2018.

[14] Commissione europea, Ufficio trasporti Svizzera, «Transalpine freight transport : Key figures 2017,» 2018.

[15] O. Baccelli, «Stati Generali della Logistica del Nord-Ovest,» 2019.

[16] Osservatorio Torino-Lione, «Quaderno 11: Contributi tecnici,» 2018.

[17] RFI, «FASE II: Studio per la valorizzazione del sistema logistico dell'area Nord Ovest del Paese,» 2017.

[18] B. Dalla Chiara, N. Coviello, A. Gualco e R. Patrese, «Analisi del sistema ferroviario piemontese, Capacità della rete in relazione ai flussi di traffico attuali e futuri,» Torino, 2019.

[19] P. E. Signorini, «Stati Generali della Logistica del Nord-Ovest,» 2019.

[20] B. Dalla Chiara, D. Marigo e G. Benzo, Interporti e terminali intermodali, 2002.

[21] B. Dalla Chiara, «Slide del corso "Sistemi di trasporto ferroviari, metropolitani e a fune",» 2018.

[22] A. Alfieri, «Slide del corso: "Simulazione dei sistemi gestionali",» 2019.

[23] N. Coviello, «Segnalamento e capacita dei sistemi ferroviari,» 2019.

[24] B. Dalla Chiara, E. Manti e M. Michele, «Terminali intermodali con funzioni gateway: simulazione progettuale su un caso di studio,» 2013.

[25] A. E. Rizzoli, N. Fornara e L. M. Gambardella, «A simulation Tool for Combined Rail/Road Transport in Intermodal Terminals».

[26] X. Chen, S. He, T. Li e Y. Li, «A Simulation Platform for Combined Rail/Road Transport in Multiyards Intermodal Terminals,» 2018.

[27] F. Marín Martínez, I. García Gutiérrez, A. Ortiz Oliveira e L. M. Arreche Bedia, «Gantry crane operations to transfer containers between trains: A simulation study of a Spanish terminal,» 2010.