

# POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

Tesi di Laurea Magistrale

Progettazione di terminali intermodali con funzione gateway: la  
piattaforma di Torino-Orbassano inclusiva dei traffici della linea  
Torino-Lione e del porto di Vado Ligure



**Relatore**

Prof. Ing. Bruno Dalla Chiara

**Correlatore**

Ing. Nicola Coviello

**Candidato**

Alessandro Carmine De Paola

Marzo 2020



*Alla mia famiglia e a tutti coloro  
che mi sono stati accanto  
durante questo percorso*

## Sommario

La piattaforma logistica di Torino-Orbassano si colloca in posizione strategica nelle dinamiche dei flussi di traffico che interessano l'Arco Alpino Occidentale ed ha un ruolo cardine nello scacchiere della logistica piemontese.

Torino-Orbassano, attraverso il Frejus, presenta collegamenti diretti sia ferroviari che stradali con la Francia. Al contempo grazie alla sua vicinanza alla tangenziale di Torino, la piattaforma è dotata di uno sbocco diretto sulla rete autostradale nazionale.

Questo elaborato di tesi si pone l'obiettivo di proporre una riprogettazione della piattaforma logistica, con l'ambizione di restituire al 2030, anno in cui è previsto il completamento della linea Torino-Lione, un'infrastruttura intermodale, efficiente e moderna.

Per riportare un quadro più completo possibile si è scelto di affrontare il problema in primis in chiave teorica e successivamente dal punto di vista progettuale. Infine, mediante simulazione in ambiente Arena si è verificata la validità della soluzione proposta. La componente simulativa è stata realizzata da Davide Andreoli, studente del Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale, presso il Politecnico di Torino.

Il lavoro di tesi parte con l'analisi dallo stato dell'arte dell'offerta intermodale italiana, descrivendo la realtà presente sul territorio nazionale e riportando gli studi tecnico-scientifici eseguiti in merito.

Successivamente vengono svolti approfondimenti sui flussi di traffico internazionali, marittimi e terrestri, con un focus sulla nuova linea Torino-Lione.

Di pari passo si è scelto di trattare le iniziative promosse dall'UE in chiave de-carbonizzazione e contenimento delle emissioni climalteranti.

Una corretta progettazione di un terminale intermodale non può prescindere da una sostanziosa conoscenza dell'intermodalità in tutti i suoi aspetti, dunque si riporta un approfondimento sulle infrastrutture e sui mezzi di movimentazione necessari.

Si propone inoltre una descrizione della rete di infrastrutture di cui fa parte la piattaforma logistica di Torino-Orbassano e l'analisi della domanda di

trasporto che la stessa dovrà soddisfare al 2030. Ottenuti i dati di input dall'analisi della domanda si è approcciato il tema della progettazione dei terminali intermodali, con applicazione pratica al caso studio: Torino-Orbassano. La validità della soluzione proposta è stata determinata mediante analisi dei parametri prestazionali restituiti dalla simulazione. Infine, attraverso una What-if analysis si è cercato di offrire una soluzione alle criticità emerse.

## **Abstract**

The Turin-Orbassano logistics platform is strategically located in the dynamics of the traffic flows affecting the Western Alpine Arc and plays a pivotal role in the Piedmontese logistics chessboard.

Turin-Orbassano through Frejus can boast direct rail and road connections with France. At the same time, thanks to its proximity to the Turin bypass, it is provided with a direct outlet on the national motorway network.

This thesis project aims to propose a redesign of the Logistics Platform, with the ambition to return to 2030, the year in which the Turin-Lyon railway is expected to be completed, an intermodal, efficient and modern infrastructure.

In order to bring the most complete possible scenario, we have chosen to tackle the problem primarily in a theoretical key and subsequently from a design point of view. Finally, through simulation in the Arena environment, the validity of the proposed solution was verified. The simulation component was created by Davide Andreoli, graduating student of the Master of Science in Management Engineering, at the Politecnico of Turin.

The thesis work starts with the analysis of the state of the art of the Italian intermodal offer, describing the reality present on the national territory and reporting the technical-scientific studies performed on the matter.

Subsequently, in-depth analyses are carried out on international, maritime and land traffic flows, with a focus on the Turin-Lyon railway. At the same time, we have chosen to treat the initiatives promoted by the EU in terms of de-carbonization and containment of climate-changing emissions.

A correct design of an intermodal terminal cannot be separated from a substantial knowledge of intermodality in all its aspects, therefore an in-depth analysis of the infrastructures and the necessary means of handling is provided. It also proposes a description of the infrastructure network which the Turin-Orbassano logistic platform belongs to and an analysis of the transport demand that it will have to satisfy by 2030.

Obtained the input data from the demand analysis, we approached the theme of the design of intermodal terminals, with practical application to the case study: Torino-Orbassano.

The validity of the proposed solution was determined by analysing the performance parameters returned by the simulation. Finally, through a What-if analysis we tried to offer a solution to the critical issues that emerged.

# Indice

<b>Sommario</b> .....	4
<b>Abstract</b> .....	6
<b>0. Introduzione ed obiettivi</b> .....	11
<b>1. Stato dell'arte</b> .....	13
1.1 Servizi e terminal nell'offerta ferroviaria.....	13
1.1.1 Trasporto merci ferroviario .....	13
1.1.2 Terminal oggi in Italia .....	17
1.2 Letteratura tecnico-scientifica.....	21
1.2.1 Casi in letteratura di progettazione e simulazione di terminal .....	21
<b>2. Reti e flussi di traffico internazionale</b> .....	24
2.1 Rotte marittime internazionali .....	24
2.2 Trasporto ferroviario intercontinentale .....	27
2.3 Trasporto ferroviario europeo: reti TEN-T.....	29
2.4 I corridoi italiani.....	30
2.5 Linea Torino-Lione .....	32
2.5.1 Descrizione dell'infrastruttura.....	32
2.5.2 Analisi di potenzialità e capacità .....	34
<b>3. Obiettivi europei su de-carbonizzazione e contenimento delle emissioni</b> ..	36
3.1 Piano Europeo per il 2020 .....	36
3.2 Piano Europeo per il 2030 .....	37
3.3 Piano Europeo per il 2050 .....	38
3.4 Obiettivi europei per il settore dei trasporti .....	38
3.5 La Convenzione delle Alpi .....	41
<b>4. Il trasporto intermodale</b> .....	44
4.1 Tipologie di trasporto ed unità di trasporto intermodali.....	44
4.2 Terminali intermodali .....	50
4.3 Interporti o piattaforme logistiche.....	56
4.4 Movimentazione delle UTI e relative attrezzature .....	58
4.5 I costi del trasporto combinato.....	65
4.6 Vantaggi del trasporto combinato .....	68
4.6.1 Riduzione delle emissioni locali .....	68
4.6.2 Riduzione incidentalità .....	69
4.6.3 Riduzione occupazione suolo .....	72
4.7 ETR merci .....	73
<b>5. Offerta attuale: rete esistente</b> .....	75
5.1 Torino-Modane.....	75
5.1.1 Inquadramento storico-descrittivo della Torino-Modane .....	75
5.1.2 Potenzialità e capacità della Linea Storica.....	77
5.1.3 Cenni sull'Autostrada Ferroviaria Alpina (AFA) .....	80
5.2 L'attuale piattaforma logistica di Torino-Orbassano.....	83

5.2.1 Lo scalo ferroviario .....	85
5.2.2 Interporto SITO .....	90
5.2.3 Centro Agro Alimentare di Torino (CAAT).....	91
5.2.4 Termovalorizzatore .....	93
<b>6. Domanda di trasporto .....</b>	<b>94</b>
6.1 Traffici odierni sui principali valichi alpini .....	94
6.2 Dinamiche di sviluppo ed interscambio di beni attraverso l'Arco Alpino Occidentale.....	96
6.3 Scenari di evoluzione e di crescita previsti dall'Osservatorio Torino-Lione ...	100
6.4 Piattaforma logistica di Torino-Orbassano .....	104
6.5 Necessità di un nuovo sistema di infrastrutture .....	111
<b>7. Criteri di progettazione di un terminale intermodale .....</b>	<b>113</b>
7.1 Condizioni territoriali e requisiti costitutivi .....	113
7.2 Valutazione d'Impatto Ambientale in fase progettuale.....	114
7.3 Requisiti progettuali .....	115
7.4 Potenzialità .....	118
7.5 Capacità di deposito .....	119
<b>8. Progetto piattaforma logistica di Torino-Orbassano.....</b>	<b>121</b>
8.1 Identificazione criticità.....	121
8.2 Fase 1 (2022).....	124
8.2.1 Scenario RFI in fase di realizzazione.....	124
8.2.2 Scenario di progetto.....	125
8.3 Fase 2 (2030).....	139
8.3.1 Scenario RFI ipotizzato .....	139
8.3.2 Scenario di progetto.....	142
<b>9. Progetto di simulazione .....</b>	<b>150</b>
9.1 Fasi del progetto di simulazione.....	150
9.1.1 Definizione del problema .....	150
9.1.2 Analisi degli input .....	151
9.1.3 Costruzione del modello.....	151
9.1.4 Verifica e validazione .....	152
9.1.5 Definizione scenari e analisi degli output.....	153
9.1.6 Analisi dei risultati .....	153
9.2 Arena Simulation .....	153
<b>10. Simulazione piattaforma logistica di Torino-Orbassano .....</b>	<b>156</b>
10.1 Definizione del problema .....	156
10.1.1 Sotto-sistema ferroviario.....	157
10.1.2 Sotto-sistema stradale.....	159
10.1.3 Sotto-sistema movimentazione UTI.....	159
10.2 Analisi degli input .....	160
10.2.1 Layout dello scalo .....	160
10.2.2 Matrice degli itinerari.....	163
10.2.3 Traffico ferroviario.....	164
10.2.4 Distribuzioni ritardi.....	166

10.2.5 Tempi operativi gru a portale .....	167
10.2.6 Operazioni nei terminal e mezzi di movimentazione .....	167
10.2.7 Velocità veicoli .....	167
10.3 Costruzione del modello.....	168
10.3.1 Avvio della simulazione e lettura file di input.....	168
10.3.2 Blocco creazione entità .....	168
10.3.3 Circolazione ferroviaria .....	170
10.3.4 Blocchi nodo ferroviario.....	171
10.3.5 Blocchi arco ferroviario .....	172
10.3.6 Blocchi raccordi terminal .....	173
10.3.7 Blocchi circolazione stradale .....	174
10.3.8 Blocchi operazioni terminal.....	176
10.3.9 Termine della simulazione e scrittura file output .....	178
10.3.10 Commento del codice VBA .....	179
10.4 Verifica e validazione .....	181
10.5 Definizione scenari e analisi degli output .....	183
10.5.1 Scenari simulati .....	183
10.5.2 Orizzonte temporale.....	183
10.5.3 Numero di repliche.....	184
10.5.4 Analisi del transitorio .....	185
10.6 Analisi dei risultati.....	185
10.6.1 Scenario 2020 (Fase 0) .....	185
10.6.2 Scenario 2022 (Fase 1) .....	186
10.6.3 Scenario 2030 (Fase 2) .....	187
10.6.4 Analisi dei rischi.....	189
<b>11. Conclusioni</b> .....	<b>190</b>
<b>Allegati</b> .....	<b>194</b>
<b>Bibliografia</b> .....	<b>195</b>
<b>Sitografia</b> .....	<b>197</b>
<b>Ringraziamenti</b> .....	<b>200</b>

## 0. Introduzione ed obiettivi

La piattaforma logistica di Torino-Orbassano si colloca in posizione strategica nelle dinamiche dei flussi di traffico che interessano l'Arco Alpino Occidentale ed ha un ruolo cardine nello scacchiere della logistica piemontese.

Torino-Orbassano attraverso il Frejus presenta collegamenti diretti sia ferroviari che stradali con la Francia. Al contempo data la sua vicinanza alla tangenziale di Torino è dotata di uno sbocco diretto sulla rete autostradale nazionale.

Questo elaborato di tesi si pone l'obiettivo di proporre una riprogettazione della piattaforma logistica, con l'ambizione di restituire al 2030, anno in cui è previsto il completamento della linea Torino-Lione, un'infrastruttura intermodale efficiente e moderna.

Per riportare un quadro più completo possibile si è scelto di affrontare il problema prima in chiave teorica e successivamente dal punto di vista progettuale. Infine mediante simulazione in ambiente Arena si è verificata la validità della soluzione proposta.

La componente simulativa è stata realizzata da Davide Andreoli, studente Laureando del Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale, presso il Politecnico di Torino.

Nel primo capitolo si intende esaminare lo stato dell'arte dell'offerta intermodale italiana, descrivendo la realtà presente sul territorio nazionale e riportando gli studi offerti dalla letteratura tecnico-scientifica in merito.

Il secondo capitolo si focalizza sulle reti e sui flussi di traffico internazionali, dunque vengono analizzate sia le rotte marittime che le reti ferroviarie internazionali. A partire dal contesto intercontinentale, entrando nel dettaglio si è giunti ai Corridoi italiani ed alla linea Torino-Lione.

Nel terzo capitolo viene approfondita la tematica ambientale attraverso l'analisi degli obiettivi che l'UE si è posta nel medio e lungo termine, dunque de-carbonizzazione e contenimento delle emissioni, inoltre viene riportato un focus sulla Convenzione delle Alpi.

Il quarto capitolo si propone il compito di effettuare una disamina sulle componenti e sugli impatti socio-economici del trasporto intermodale.

Il quinto capitolo descrive tutte le parti che concorrono alla formazione dell'offerta attuale, ovvero la linea Storica Torino-Modane e l'odierna piattaforma logistica di Torino-Orbassano.

Il sesto capitolo tratta l'analisi della domanda di trasporto, la quale dopo essere stata definita ha restituito le fondamenta numeriche necessarie alla realizzazione del predimensionamento prima e del dimensionamento poi delle infrastrutture comprese nel progetto di riqualificazione.

Il settimo capitolo nasce con l'intento di fornire una visione di insieme sulla progettazione di un terminal intermodale.

L'ottavo capitolo contiene una descrizione dettagliata di tutti gli interventi volti a superare le criticità riscontrate e pianificati in fase di progettazione. Ciò si è rivelato possibile attraverso la rielaborazione delle informazioni raccolte sia nei questionari sottoposti agli operatori della piattaforma logistica che nei sopralluoghi condotti sul posto con Andreoli. Nel nono capitolo si intende spiegare cos'è e come si esegue una simulazione.

Il decimo capitolo riporta i risultati delle simulazioni elaborate da Andreoli, le quali si articolano su tre livelli. Viene simulato in primis lo Scenario 2020, ovvero quello attuale, in secundis si passa allo Scenario al 2022, nel quale si assume ultimata una prima serie di interventi ed infine viene proposta una simulazione dell'intera piattaforma logistica di Torino Orbassano, riprogettata in ottica 2030.

Infine l'undicesimo capitolo offre prima un confronto tra le prestazioni dell'attuale piattaforma logistica e quelle a riqualificazione ultimata e poi un'ulteriore fase di riflessione attraverso una What-if analysis.

## 1. Stato dell'arte

### 1.1 Servizi e terminal nell'offerta ferroviaria

#### 1.1.1 Trasporto merci ferroviario

Il trasporto merci ferroviario fonda il suo operato sulla possibilità dei treni merci di circolare sulla rete ferroviaria nazionale.

Tra le discriminanti che impediscono la circolazione dei treni merci su determinate tratte, particolare rilevanza hanno i limiti di sagoma ed il carico massimo trasportabile per asse.

In Italia, RFI in base alla categoria della linea ferroviaria, impone i limiti massimi di massa trasportabile per asse riportati in tabella 1:

CATEGORIA	CARICO MASSIMO [t]
A	16
B2	18
C3	20
D4	22,5

Tabella 1: Limiti di massa trasportabile per asse in tonnellate (fonte: RFI)

Il trasporto merci ferroviario è anche condizionato dalle caratteristiche proprie dell'infrastruttura, ovvero dalle livellette e dai raggi di curvatura.

Le livellette condizionano il valore della massima massa trainabile dal singolo locomotore, ovviamente maggiore sarà la livelletta e minore sarà la massima massa trainabile, ne deriva che a parità di massa da trainare sarà necessario un diverso numero di locomotori in funzione della livelletta propria della linea, questo incide sui costi del trasporto.

La livelletta, inoltre, influenza il valore della distanza di arresto e di conseguenza anche la lunghezza delle sezioni di blocco, ciò si ripercuote direttamente sulla potenzialità della linea e sulla capacità della stessa.

I raggi di curvatura, infine, condizionano sia la velocità massima di percorrenza che la lunghezza massima dei convogli che percorrono una determinata tratta.

Il trasporto merci ferroviario si divide in:

- **Diffuso**, trattasi della tipologia di trasporto adoperata quando si ha a che fare con merci alla rinfusa, in tal caso non vengono adottate UTI e lo smistamento del singolo carro può essere effettuato ricorrendo alle selle di lancio.
- **Intermodale**, 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]. Le unità di trasporto intermodali (UTI) vengono distinte in: container, casse mobili e semirimorchi. Il trasporto intermodale è gestito all'interno di terminal intermodali, tra questi particolare rilevanza hanno i terminal con funzione gateway. Essi ricorrono alla movimentazione verticale delle UTI.

Il trasporto intermodale, inoltre, viene distinto in: accompagnato e non accompagnato. Nel primo caso conducente e motrice accompagnano il carico quando avviene la transizione modale, nel trasporto non accompagnato ciò non si verifica.

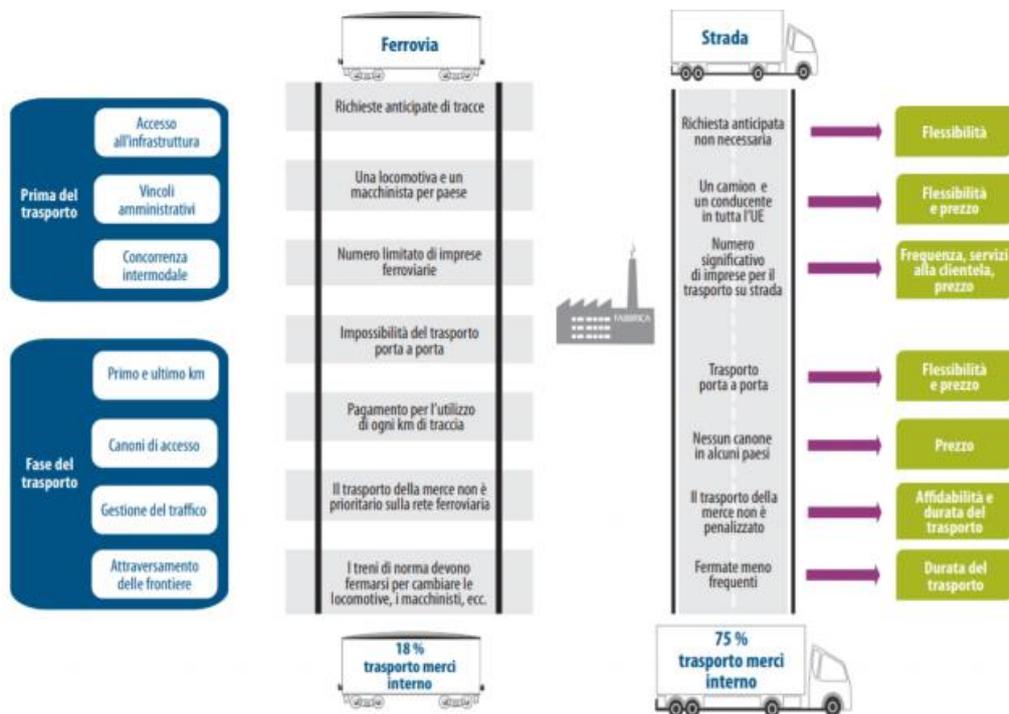


Figura 1: Peculiarità delle modalità di trasporto ferroviario e stradale (fonte: Corte dei conti europea)

Volendo dare una stima all'entità del trasporto merci ferroviario in Italia, si riportano i dati Fercargo relativi al 2019, secondo i quali il traffico merci ferroviario italiano si attesta sui 49 milioni di treni-km, con un incremento del 4% rispetto ai 47.4 milioni del 2018.

Lo smistamento della merce trasportata su ferrovia non ha seguito sempre le stesse modalità di esecuzione, infatti prima che prendesse piede l'intermodalità si è ricorso lungamente all'utilizzo dei centri di smistamento ferroviario. Essi hanno la loro ragion di essere quando la merce proviene da origini diverse e al contempo presenta diverse destinazioni o si hanno convogli composti da carri con destinazioni differenti, quindi risulta necessaria la presenza di nodi con funzione di smistamento ferroviario.

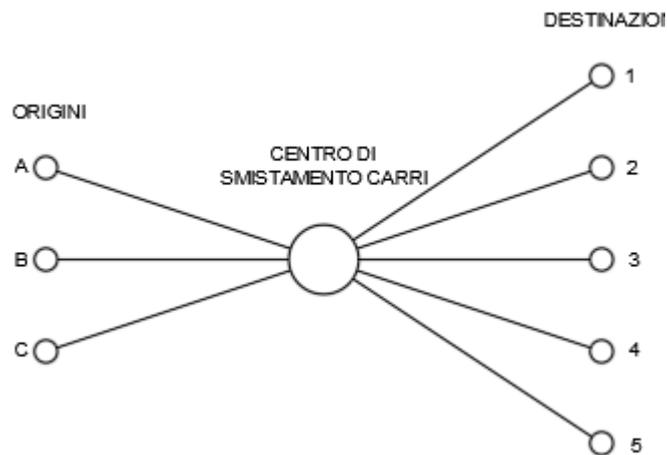


Figura 2: Schematizzazione di un nodo che funge da centro di smistamento carri

All'interno dei centri di smistamento la scomposizione e la ricomposizione dei convogli avviene ricorrendo alle selle di lancio, ovvero collinette artificiali, alte dai 6 ai 9 metri e con livellette comprese tra il 5 ed il 10 per mille.

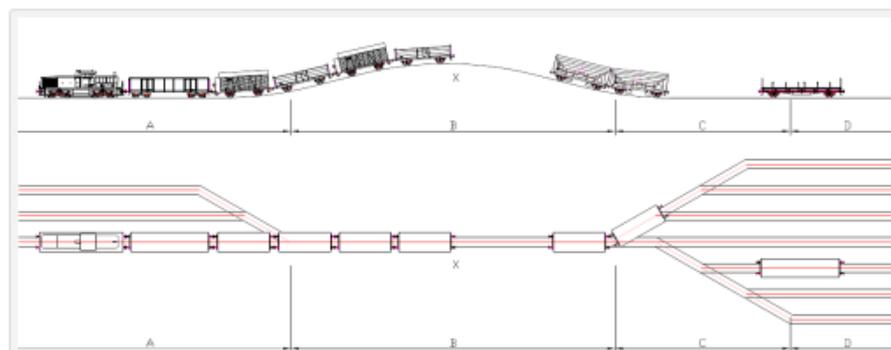


Figura 3: Schematizzazione sella di lancio (fonte: <https://scalaenne.wordpress.com/>)

L'altezza della sella di lancio viene determinata effettuando un equilibrio tra energia potenziale, energia cinetica e lavoro delle forze dissipative. A pieno regime, una sella di lancio è in grado di movimentare oltre 1.000 carri.

Volendo schematizzare la sequenza di operazioni che avvengono in un centro di smistamento avremo:

- Arrivo e sosta dei convogli in attesa delle operazioni di smistamento.
- I singoli carri o i gruppi di carri, a cui viene dato il nome di "tagli", vengono agganciati in un primo momento a locomotori con trazione elettrica, fino all'ingresso della sella di lancio e poi all'interno della stessa a locomotori diesel.
- Una volta staccati dalla motrice, i carri vanno a comporre nuovi convogli in un fascio di binari appositamente dedicato. L'indirizzamento viene effettuato mediante un sistema di scambi gestiti a distanza. I carri, inoltre, in base alla loro resistenza all'avanzamento vengono divisi in "buoni corridori" ed in "cattivi corridori". La frenatura degli stessi è effettuata mediante dispositivi di rallentamento che necessitano di opportuno dimensionamento. Quando il carro giunge in prossimità del convoglio in composizione, per completare le operazioni di frenatura, si può ricorrere all'utilizzo di staffe fermacarri, posizionate sui binari da un operatore [1]. In Europa storicamente si è scelto di effettuare il dimensionamento delle selle di lancio basandosi sulle prestazioni di carri "buoni corridori", mettendo in conto la necessità di dover ricorrere a sistemi di spinta aggiuntivi quando la sella viene utilizzata da carri "cattivi corridori" [2]. I carri che trasportano merci pericolose oppure materiale fragile vengono movimentati con procedure differenti, onde evitare impatti bruschi.

Al giorno d'oggi l'utilizzo delle selle di lancio sta scemando poiché si tratta di una soluzione obsoleta e costosa, mentre viene premiato in misura sempre maggiore il trasporto combinato strada-rotaia, il quale mediante l'utilizzo di UTI restituisce una versatilità e una rapidità maggiori, durante le operazioni di carico/scarico.

### 1.1.2 Terminal oggi in Italia

Al 2020 sul suolo italiano non esistono selle di lancio attive, appunto per la loro scarsa competitività con il trasporto intermodale.

Una delle principali selle di lancio nazionali svolgeva le proprie funzioni presso la piattaforma logistica di Torino-Orbassano e ad oggi risulta essere dismessa.



Figura 4: Sella di lancio dismessa di Torino-Orbassano (fonte: sopralluogo del 14/11/19)



Figura 5: Fascio binari di smistamento dismessi Torino-Orbassano (fonte: sopralluogo del 14/02/19)

Chiarite le ragioni alla base della progressiva sostituzione delle selle di lancio con i terminali intermodali, per fornire una rappresentazione più precisa possibile del contesto intermodale nazionale, si riporta un censimento dei

maggiori terminal intermodali italiani dove vengono svolte operazioni di combinato strada-rotaia.

I dati raccolti ed esposti in questa sede, secondo ordine alfabetico, sono stati ricavati dal sito internet di Terminali Italia nel caso in cui il gestore del terminale fosse RFI/TI, altrimenti dai siti internet dei gestori dei singoli terminali, come si evince nella sitografia:

- **Bari Ferruccio (Puglia)**, gestito da RFI/TI, si estende su una superficie di circa 50.000 m<sup>2</sup>, conta 3 gru gommate e 5 locomotori per le manovre ed è in grado di lavorare 24 coppie di treni a settimana. La capacità si attesta sulle 45.000 UTI movimentate all'anno, inoltre i 7 binari presenti hanno lunghezze comprese tra i 550 ed i 750 metri [sito1].
- **Bologna Interporto (Emilia Romagna)**, gestito da RFI/TI, si estende su una superficie di circa 246.000 m<sup>2</sup>, conta 3 gru gommate. La capacità si attesta sulle 100.000 UTI movimentate all'anno, i 10 binari interni al terminal si estendono su lunghezze comprese tra i 500 ed i 600 metri [sito1].
- **Brescia Scalo (Lombardia)**, gestito da RFI/TI, si estende su una superficie di 25.000 m<sup>2</sup>. I 4 binari presenti raggiungono una lunghezza complessiva di 1.800 metri. Le operazioni sono effettuate da 3 gru gommate ed altri 2 mezzi [sito1].
- **Brindisi (Puglia)**, gestito da RFI/TI, si estende su una superficie di 24.000 m<sup>2</sup>. I 2 binari presenti raggiungono una lunghezza complessiva di 1.200 metri. Le operazioni sono effettuate da 2 gru gommate [sito1].
- **Busto Arsizio-Gallarate (Lombardia)**, gestito da HUPAC, si estende su un'area di 246.000 m<sup>2</sup>, la superficie di stoccaggio è pari a 26.000 m<sup>2</sup>. Nel terminal sono presenti: 12 gru a portale, una gru gommata, 6 locomotori di linea e 6 trattori terminalistici. La capacità massima è di 33 coppie di treni al giorno. Mediamente vengono movimentate 420.000 UTI all'anno. Le operazioni vengono effettuate ricorrendo a 35 binari, di lunghezza compresa tra i 500 ed i 760 metri [sito2].
- **Castelguelfo (Emilia Romagna)**, gestito da RFI/TI, si estende su una superficie di 80.000 m<sup>2</sup>. I 3 binari presenti raggiungono una lunghezza

- complessiva di 1.400 metri. Le operazioni sono effettuate da 3 gru gommate ed altri 2 mezzi [sito1].
- **Catania Bicocca (Sicilia)**, gestito da RFI/TI, si estende su una superficie di 32.000 m<sup>2</sup>, conta 3 gru gommate e i 4 binari hanno lunghezza complessiva di 2.000 metri [sito1].
  - **Gela (Sicilia)**, gestito da RFI/TI, si estende su una superficie di 12.000 m<sup>2</sup>, conta 2 gru gommate e i 2 binari hanno lunghezza pari a 300 metri [sito1].
  - **Livorno Guasticce (Toscana)**, gestito da RFI/TI, si estende su una superficie di 130.000 m<sup>2</sup>, conta 3 gru gommate ed una gru a portale. I 2 binari hanno lunghezza complessiva di 1.300 metri [sito1].
  - **Maddaloni-Marcianise (Campania)**, gestito da RFI/TI, si estende su una superficie di 30.000 m<sup>2</sup>, conta 3 gru gommate. I 3 binari hanno lunghezza complessiva di 1.500 metri [sito1].
  - **Melzo (Lombardia)**, gestito da RHM, si estende su una superficie di circa 300.000 m<sup>2</sup>, il terminal ha al suo interno 4 binari da 750 metri, la capacità massima dichiarata è di 130.000 UTI movimentate all'anno. All'interno del terminal sono presenti: 2 gru a portale, 13 gru gommate e tre locomotive per le operazioni di manovra [sito3].
  - **Milano Segrate (Lombardia)**, gestito da RFI/TI, si estende su una superficie di 145.000 m<sup>2</sup>, conta 10 gru gommate. Gli 8 binari hanno lunghezze comprese tra i 450 e i 500 metri. La capacità massima è di 200.000 UTI movimentate all'anno [sito1].
  - **Mortara (Lombardia)**, gestito da T.I.MO. S.r.l., si estende su una superficie di oltre 100.000 m<sup>2</sup>, conta 3 binari operativi con lunghezze comprese tra i 650 ed i 700 metri. Vengono servite mediamente tre coppie di treni al giorno, con una stima di traffico di 150.000 UTI all'anno a pieno regime. Le operazioni sono effettuate da 4 gru gommate [sito4].
  - **Nola (Campania)**, gestito da TIN S.p.a., si estende su una superficie di circa 225.000 m<sup>2</sup>, all'interno del terminal sono presenti 5 gru gommate e 7 locomotori destinati alle operazioni di manovra, l'intera infrastruttura ferroviaria comprende 13 coppie di binari di presa e

- consegna. Vengono movimentate mediamente 45.000 UTI all'anno [sito5].
- **Novara Boschetto (Piemonte)**, gestito da Eurogateway S.r.l., si estende su una superficie di circa 50.000 m<sup>2</sup> ed effettua le operazioni ricorrendo all'utilizzo di 7 binari e 5 gru semoventi [sito 6].
  - **Novara Cim (Piemonte)**, gestito da Eurogateway S.r.l., si estende su una superficie di circa 170.000 m<sup>2</sup> ed effettua le operazioni ricorrendo all'utilizzo di 7 binari da 600 e 7 gru semoventi. Vengono gestite 148 coppie di treni a settimana [sito 6].
  - **Padova (Veneto)**, gestito da Interporto Padova S.p.a., si estende su una superficie di circa 350.000 m<sup>2</sup>, le operazioni vengono svolte da 14 gru gommate e 4 gru a portale, a servizio di 23 binari totali. Il terminal movimentata ogni anno circa 275.000 TEU's [sito 7].
  - **Pescara (Abruzzo)**, gestito da Interporto Val Pescara S.p.a., si estende su una superficie di circa 70.000 m<sup>2</sup> ed utilizza 4 binari da 680 metri [sito 8].
  - **Piacenza (Emilia Romagna)**, gestito da HUPAC, si estende su un'area di 45.000 m<sup>2</sup>, la superficie di stoccaggio è pari a 10.000 m<sup>2</sup>. Nel terminal sono presenti: 5 gru gommate, 2 locomotori di linea e 3 trattori terminalistici. La capacità massima è di 8 coppie di treni al giorno. Le operazioni vengono effettuate ricorrendo a 4 binari, di lunghezza compresa tra i 500 ed i 600 metri [sito 2].
  - **Rivalta Scrivia (Piemonte)**, gestito da Rivalta Terminal Europa S.p.a., si estende su una superficie di circa 250.000 m<sup>2</sup>, permette lo stoccaggio a terra di 50.000 TEU's [sito 9].
  - **Roma Smistamento (Lazio)**, gestito da RFI/TI, si estende su una superficie di 10.000 m<sup>2</sup>, conta 2 gru gommate. I 2 binari hanno lunghezza complessiva di 500 metri [sito1].
  - **Torino-Orbassano (Piemonte)**, gestito da RFI/TI, si estende su una superficie di 50.000 m<sup>2</sup>. Ha al suo interno 6 gru gommate. I 5 binari hanno lunghezza pari a 400 metri [sito1].
  - **Trento (Trentino Alto Adige)**, gestito da INTERBRENNERO S.p.a., si estende su una superficie di circa 150.000 m<sup>2</sup>, sono presenti 9 binari, con lunghezze comprese tra i 400 ed i 750 metri [sito 10].

- **Verona (Veneto)**, gestito da RFI/TI, si estende su una superficie di 240.000 m<sup>2</sup>. Sono presenti 7 gru a portale, 5 gru gommate e 7 mafi. La capacità del terminal massima è di 550.000 UTI movimentate all'anno. Il numero totale di binari è pari a 15 [sito1].

## **1.2 Letteratura tecnico-scientifica**

### **1.2.1 Casi in letteratura di progettazione e simulazione di terminal**

Dalla consultazione di strumenti di ricerca come Google Scholar o la piattaforma Pico del Politecnico di Torino è stato possibile visionare il materiale scientifico inerente la progettazione di un terminale intermodale. Tendenzialmente viene seguito lo stesso approccio in tutti gli elaborati, ovvero:

- Esaustiva descrizione del trasporto intermodale in tutti i suoi aspetti.
- Analisi della domanda di trasporto.
- Dimensionamento delle infrastrutture proprie del terminal: numero di binari operativi e di sosta e manovra, viabilità di accesso, raccordi ferroviari ed aree di deposito.
- Scelta della tipologia e del numero di mezzi di movimentazione necessario a garantire un servizio efficiente.
- Simulazione finalizzata alla determinazione dei parametri prestazionali.

L'approccio descritto è stato seguito nell'elaborato di Tesi Magistrale, di Manti E., 2011, *Progettazione e simulazione di un'area intermodale con funzioni di terminal gateway*, redatto presso il Politecnico di Torino.

Sulla base dell'elaborato di tesi citato, è stato prodotto da Dalla Chiara B., Manti E. e Michele M. l'articolo scientifico *Terminali intermodali con funzione gateway: simulazione progettuale su un caso di studio*, sul numero di giugno 2013 della rivista di tecnica ed economia dei trasporti *IF Ingegneria Ferroviaria*.

La tematica è affrontata con identico approccio anche in altri atenei italiani, come testimoniano le dispense *Guida alla esercitazione del corso di Terminali per*

*i trasporti e la logistica* del prof. Ing. Crisalli U., docente presso il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Roma "Tor Vergata".

In letteratura sono presenti anche studi riguardanti l'approccio normativo da seguire, come dimostra l'elaborato di Tesi di Ortolani A., 2012, *Interporti e trasporto intermodale: analisi del quadro normativo di riferimento e riflessi sul piano funzionale ed operativo*, eseguito presso l'Alma Mater Studiorum - Università di Bologna.

Si rammenta che un terminale intermodale deve gran parte del suo successo ad una corretta localizzazione geografica, in questa ottica si sviluppa l'articolo scientifico redatto da Piccioni C., Antoniazzi F. e Musso A., *La localizzazione dei terminali per il trasporto combinato strada-ferrovia: un'applicazione dei modelli di facility location e di optimal location*, sul numero di luglio/agosto 2010 della rivista di tecnica ed economia dei trasporti *IF Ingegneria Ferroviaria*.

Infine un esempio di analisi dell'importanza del gateway nel combinato strada-rotaia in Europa, con applicazione ad un caso studio in Italia, è rappresentato dall'elaborato nato dal Dottorato di Ricerca di Grossato, R., 2008, *Il Sistema Gateway nello sviluppo della rete del trasporto combinato in Europa: il caso del terminal di Verona Quadrante Europa*, eseguito presso l'Alma Mater Studiorum - Università di Bologna.

Estendendo il raggio alla letteratura internazionale, nella *World Review of Intermodal Transportation Research*, Vol. 3, No. 3, 2010 viene pubblicato uno studio dell'Università di Göteborg, intitolato *Establishing intermodal terminals*. L'ateneo svedese ha applicato la teoria della scelta razionale ai terminali di Falköping/Skaraborg e Nässjö/Jönköping. Si dimostra anche in questo caso che la localizzazione geografica di un terminale, unita ad una corretta gestione imprenditoriale dello stesso influisce in maniera determinante sui flussi trattati.

Arnold P., Peeters D. e Thomas I. nell'articolo *Modelling a rail/road intermodal transportation system* pubblicato sulla *Logistics and Transportation Review*, Vol. 40, Issue 3, May 2004, Pages 255-270 adottando un approccio euristico provano come il cambio di scartamento e la localizzazione geografica abbiano un'influenza tangibile sul quantitativo di merce trattata dai terminali iberici, i quali poi condizionano inevitabilmente i flussi europei.

La corretta automatizzazione delle operazioni interne ad un terminale intermodale consente di ridurre in maniera significativa i tempi ciclo, ciò è dimostrato, mediante l'utilizzo di un modello di rete Petri, nell'articolo di Degano C. e Di Febbraro A., *Modelling automated material handling in intermodal terminals*, pubblicato dall'*Institute of Electrical and Electronics Engineers* nel 2001.

Proseguendo nel campo dell'automatizzazione delle operazioni terminalistiche, Di Febbraro A., Porta G. e Sacco N. nell'articolo *A Petri net modelling approach of intermodal terminals based on Metrocargo system*, pubblicato nel 2006 dall'*Institute of Electrical and Electronics Engineers*, dimostrano tramite un modello di rete Petri la funzionalità del sistema automatizzato Metrocargo.

Volendo infine affrontare anche la tematica ambientale, Bauer J., Bektaş T. e Crainic T. G. nell'articolo *Minimizing greenhouse gas emissions in intermodal freight transport: an application to rail service design*, pubblicato nel 2009 sulla rivista scientifica *Journal of the Operational Research Society*, valutano l'impatto del trasporto intermodale sull'abbattimento dei costi esterni, soprattutto se realizzato tra terminali posti a notevole distanza tra loro.

Come si evince dall'importanza e dalla diversità delle tematiche trattate nei testi riportati in questo paragrafo, la corretta progettazione di un terminale intermodale non può prescindere da un'attenta consultazione della letteratura scientifica.

## **2. Reti e flussi di traffico internazionale**

### **2.1 Rotte marittime internazionali**

Il trasporto marittimo, tramite l'utilizzo di navi porta-container o navi cargo risulta essere lo strumento più economico e più diffuso per consentire a grandi quantità di merce di ricoprire elevate distanze. Il trasporto aereo, diretto concorrente sulle rotte intercontinentali si rivela relegato alle merci di alto valore, non potendo in ogni caso competere sui quantitativi trasportati.

L'introduzione del container ha permesso di disporre di un'unità di trasporto modulare, la quale per merito dei suoi pregi è stata adottata fin da subito nel commercio intermodale, consentendo di evitare la rottura del carico e ridurre costi e tempi di movimentazione. Nel corso del tempo la progressiva crescita della stazza delle navi ha avuto come diretta conseguenza l'abbattimento del costo unitario del trasporto marittimo.

L'evoluzione delle dimensioni delle navi porta-container è schematizzata in tabella 2:

TIPOLOGIA	BAGLIO MASSIMO [m]	CAPACITA' MASSIMA [TEU]	LUNGHEZZA [m]
Panamax	32,2	2500-3000	270
post-Panamax I	> 32,2	3000-4500	280
post-Panamax II	39	4500-6000	270-280
post-Panamax III	46	6000-8000	>300

*Tabella 2: Evoluzione navi porta-container (fonte: Corso Tecnica ed Economia dei Trasporti, Bruno Dalla Chiara, Anno Accademico 2017-2018)*

Dal 2006 la struttura delle navi si è ulteriormente ingrandita, consentendo il raggiungimento di capacità dell'ordine di 11-14.000 TEU's e lunghezze prossime ai 360 metri. L'attuale limite superiore è stato toccato quando a partire dal 2012 sono state messe in produzione navi "megaship" con capacità pari anche a 22.000 TEU's e lunghezze dell'ordine dei 460 metri. Da questo trend derivano: spiccate economie di scala, una forte diminuzione del numero di canali transitabili per ovvie ragioni geometriche e la difficoltà da parte dei porti ad accogliere con i loro fondali e le loro banchine navi di tali

dimensioni. Si deduce, dunque, che presumibilmente si è vicini al limite massimo di grandezza raggiungibile dalle navi porta-container. Questa affermazione è motivata sia da considerazioni prettamente geometriche che da analisi economiche legate ai costi di assicurazione che il trasporto di carichi così importanti comporta.

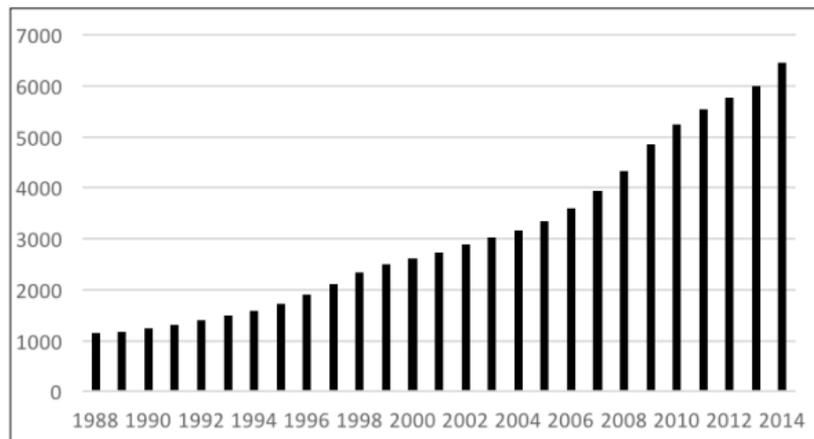


Figura 6: Evoluzione del numero di navi costituenti la flotta portacontainer dal 1988 al 2014 (Fonte: Vittorio Amato, Giovanna Galeota Lanza "Gigantismo navale e nuove rotte commerciali")

La trasformazione dell'offerta dei trasporti, il decentramento produttivo delle imprese, incentivato dalla liberalizzazione dei mercati e la riallocazione degli investimenti, sono fattori che hanno contribuito tra la fine degli anni ottanta e l'inizio degli anni novanta allo sviluppo del commercio mondiale. In questo periodo storico nasce la prima rete di rotte internazionali principali, percorsa dalle "navi madri", le quali tendono ad approdare nei soli porti hub. A supporto della rete principale, in parallelo, nasce una rete di rotte secondarie volta a soddisfare lo smistamento locale, tramite l'utilizzo di navi feeder, le quali oltre avere dimensioni ridotte, agiscono su corte o medie distanze.

Il gigantismo navale oltre ad imporre conseguenze di stampo economico ha influito anche sulle rotte e sulle infrastrutture:

- Con l'avvento delle navi post-Panamax il servizio fornito dalle navi Round the World, le quali attraversavano sia Panama che Suez fu convertito in un servizio Pendulum. Nelle rotte Pendulum il Far East

viene collegato alla East Coast degli Stati Uniti attraverso il Mediterraneo (asse Suez-Gibilterra) e la Costa Ovest degli Stati Uniti viene raggiunta infine con un servizio terrestre ferroviario detto Landbridge. L'andata ed il ritorno vengono effettuati sullo stesso percorso.

- Il Canale di Suez prima dell'ampliamento, avvenuto nel 2015, impediva alle navi più grandi l'attraversamento, con conseguenze sulle rotte internazionali provenienti dall'Asia. Esse a causa di ciò, inevitabilmente bypassavano il Mediterraneo e raggiungevano, dopo aver circumnavigato Capo di Buona Speranza, i porti del Nord Europa. L'opera di ammodernamento terminata nel 2015 per un costo totale di 8,2 miliardi di dollari ha incrementato la capacità del Canale, permettendo il transito contemporaneo di un maggior numero di convogli. Si prevede, infatti, che la media giornaliera passerà dalle attuali 46 navi alle 97 del 2023, permettendo un risparmio di circa 4 ore nell'attraversamento. In tabella viene evidenziato il fenomeno del gigantismo navale applicato al Canale di Suez [3].

ANNO	n° NAVI TOTALE	MEDIA GIORNALIERA	TONELLAGGIO NETTO	Tonn/NAVE
2000	14142	38,6	439041	31
2001	13986	38,3	456113	32,6
2002	13447	36,8	444786	33
2003	15667	42,9	549381	35
2004	16850	46	621253	36,8
2005	16850	49,9	671951	36,8
2006	18224	51,1	742708	39,7
2007	18664	55,8	848162	41,6
2008	20384	58,5	910059	42,4
2009	21415	47,2	734453	42,6
2010	17228	49,3	846389	47
2011	17999	48,8	928880	51,6
2012	17224	47,8	928472	53,9
2013	16596	45,5	915468	55,1
2014	17418	47	962748	56,1
2015	17483	47	998652	57,1
2016	16833	46	974185	57,8

Tabella 3: Traffico di attraversamento del Canale di Suez dal 2000 al 2016 (Fonte: Elaborazioni su dati dell'Autorità del Canale di Suez, 2017)

Dunque, le rotte internazionali in un'epoca in cui si sono instaurate economie di scala importanti prediligono porti in grado di ospitare navi di grosse dimensioni. Il Mediterraneo ad oggi si trova al centro delle principali rotte internazionali ed ha visto avvenire al suo interno una selezione dei porti, in base al pescaggio offerto ed alla capacità di stoccaggio. In Italia, infatti, si sono imposti come centri di transhipment i porti di Gioia Tauro e Genova. In quest'ottica nascono i lavori di ampliamento svolti nel porto di Vado Ligure. I principali porti italiani a causa dell'orografia delle coste non possono permettersi un'espansione su spazi orizzontali e si vedono costretti ad uno stoccaggio sviluppato in altezza ricorrendo per effettuare le operazioni di carico/scarico all'ausilio di gru a portale. Situazione diametralmente opposta si ha nei porti nel Nord Europa dove l'orografia consente lo sviluppo orizzontale e quindi l'occupazione di vaste aree [4].

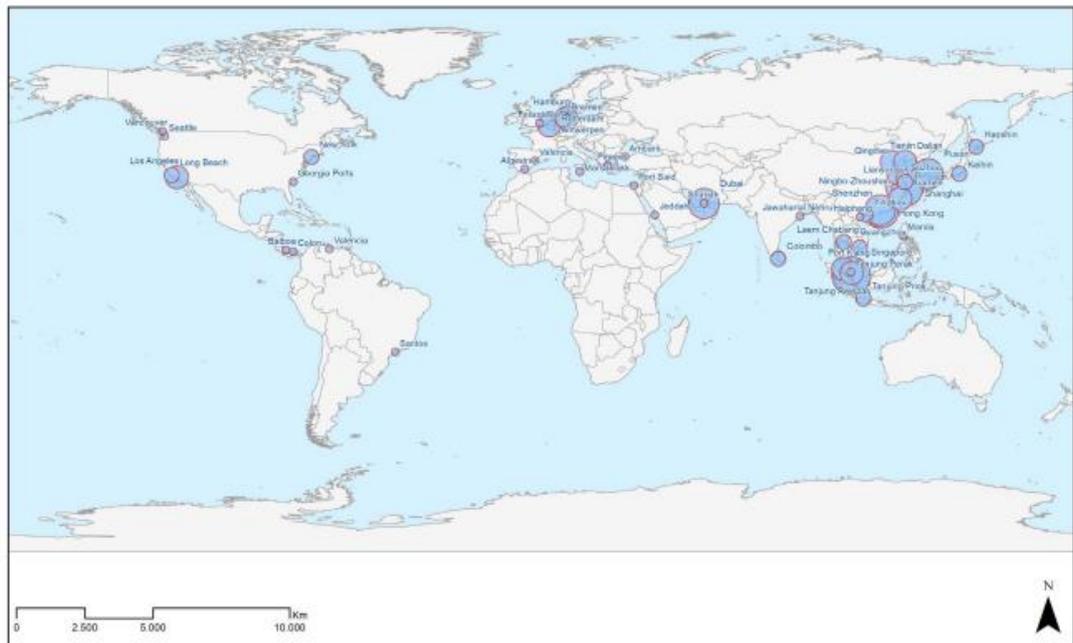


Figura 7: Primi 50 porti container al mondo, World Port Rankings 2015 (Fonte: Elaborazione dati World Shipping Council, 2017)

## **2.2 Trasporto ferroviario intercontinentale**

La ferrovia risulta essere il sistema di trasporto terrestre più efficiente dal punto di vista energetico ed uno dei più efficienti e sicuri in assoluto. Inoltre

permette la composizione di convogli di notevole lunghezza. Al momento in Italia, mediamente, si hanno composizioni da venti carri, tuttavia è facile rintracciare in altre nazioni convogli da trentacinque o più carri. L'Unione Europea con le sue politiche spinge verso treni da 35 carri, l'allungamento è ottenibile mediante composizione in serie di convogli più brevi o tramite l'introduzione di treni a potenza distribuita. Altro tassello fondamentale affinché si abbia un trasporto ferroviario merci più funzionale è la definizione di corridoi internazionali, quindi la possibilità da parte dei treni di attraversare le frontiere nazionali senza incappare in ostacoli infrastrutturali o burocratici.

La volontà dell'Europa e dell'Asia di creare un progetto per interconnettere i propri sistemi di trasporto è stata resa nota nella International Euro-Asian Conference on Transport, dove è stata ufficializzato l'impegno a riconoscere quattro corridoi internazionali principali [5]:

1. Trans-Siberiana: Europa – Russia – Giappone, con tre derivazioni principali dalla Russia verso:
  - a. Kazakistan – Cina;
  - b. Penisola coreana;
  - c. Mongolia – Cina.
2. TRACECA (Transport Corridor Europe-Caucasus-Asia): Est Europa – Mar Nero – Caucaso – Mar Caspio – Asia Centrale.
3. Rotta meridionale: Sud Est Europa – Turchia – Iran con biforcazioni dirette verso Asia centrale e Sud Asia.
4. Rotta Nord-Sud: Nord Europa – Russia, con tre rami verso:
  - a. Caucaso – Golfo Persico;
  - b. Asia centrale – Golfo Persico;
  - c. Mar Caspio – Iran – Golfo Persico.

### **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 [sito 11].

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:
  - a. Corridoio Reno-Alpi;
  - b. Corridoio Mare del Nord-Mediterraneo;
  - c. Corridoio Scandinavo-Mediterraneo;

- d. Corridoio Atlantico;
- e. Corridoio Baltico – Adriatico;
- f. Corridoio Mediterraneo;
- g. Corridoio Oriente/Mediterraneo Orientale;
- h. Corridoio Mare del Nord – Baltico;
- i. Corridoio Reno – Danubio.



Figura 8: Corridoi europei (fonte: MIT)

## **2.4 I corridoi italiani**

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

1. 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.
2. 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 [6].
3. 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.
4. Corridoio Scandinavo – Mediterraneo, lungo più di 7.000 connette Norvegia ed Italia [sito 12].

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 9: Corridoi che interessano l'Italia (fonte: RFI)

## 2.5 Linea Torino-Lione

### 2.5.1 Descrizione dell'infrastruttura

La definizione del percorso dell'Asse Ferroviario Torino-Lione è stato oggetto di studio e valutazione nel lasso di tempo che intercorre tra il 1996, anno del primo accordo principale tra Italia e Francia ed il biennio 2015-16, nel quale sono avvenute le corrispondenti Ratifiche Parlamentari.

Come indicato nell'Accordo Italia-Francia del 30 gennaio 2012 la "sezione internazionale" del collegamento Torino-Lione è suddivisa in tre parti [7]:

- **Parte francese**, compresa tra Saint-Didier-de-la-Tour e Montmélian, di competenza di RFF.
- **Parte comune italo-francese**, compresa tra Montmélian e Chiusa S. Michele, di competenza di LTF.
- **Parte italiana**, le quale si estende fino al Nodo di Torino, di competenza di RFI.

Le caratteristiche principali dell'opera sono le seguenti [sito 13]:

- 270 km complessivi di tracciato da Torino a Lione.
- 65 km di sezione transfrontaliera, compresa tra Susa/Bussoleno e St. Jean-de-Maurienne.
- Opera più importante rappresentata dal Tunnel di base del Moncenisio, 57,5 km a doppia canna.
- Velocità di progetto del Tunnel di base: 220 km/h per i passeggeri e 110 km/h per le merci.
- Livellotta massima pari al 12.5 per mille.
- Investimento economico di 8.6 miliardi di Euro, valore coperto per il 40% dall'Unione Europea, per il 35% dall'Italia e per il restante 25% dalla Francia.
- Alimentazione: 25kV per la linea AV/AC e 3kV per le interconnessioni.
- Velocità di progetto massime della linea: 250 km/h lato Francia e 220 km/h lato Italia.

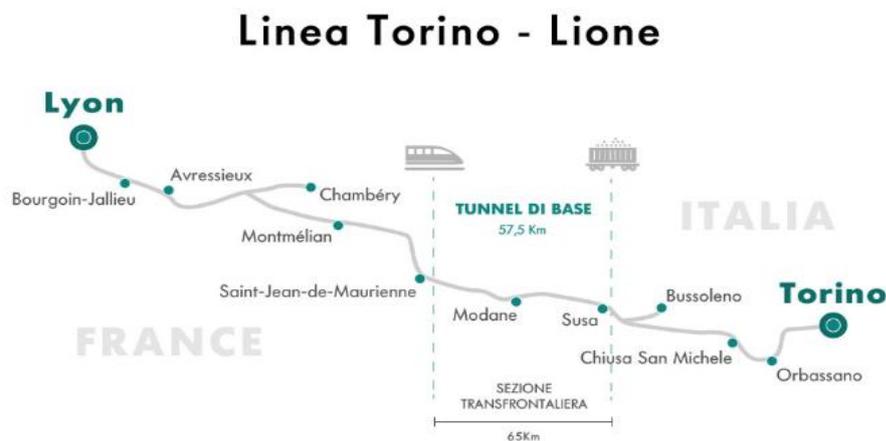


Figura 10: Descrizione linea Torino Lione (fonte: FS)



Figura 11: Confronto tra tempi di percorrenza attuali e tempi previsti nel 2030 (fonte: Quaderno 15 Osservatorio Torino Lione)

## 2.5.2 Analisi di potenzialità e capacità

Il quadro complessivo dei traffici ferroviari fornito dalle verifiche di capacità eseguite nel 2017 e con target l'orizzonte 2030 restituisce per la nuova linea i valori riportati in tabella 4, dove vengono espressi i treni/gg per ogni tratta della linea:

TIPOLOGIA TRENI	S. JEAN - BUSS	BUSS - AV	AV - TO S. P	TO S. P
PAX LUNGA PERCORRENZA	22	22	22	22
PAX REGIONALI - SFM	0	0	0	0
PAX MONTAGNA	0	0	0	0
MERCI - TC	162	172	172	130
TOTALE	184	184	194	152

Tabella 4: Stime circolazione della nuova linea al 2030, in termini di treni/gg (fonte: Quaderno 10 Osservatorio Torino Lione)

Per la Linea Storica al 2030 sono stati previsti i valori di tabella 5:

TIPOLOGIA TRENI	BAR - BUSS	SUSA - BUSS	BUSS - AV	AV - TO S. P	TO S. P
PAX LUNGA PERCORRENZA	0	0	0	0	0
PAX REGIONALI - SFM	36	36	72	144	144
PAX MONTAGNA	8	//	//	//	//
MERCI - M,TC,AF	0	0	//	//	//
TOTALE	44	36	72	144	144

Tabella 5: Stime circolazione della Linea Storica al 2030, in termini di treni/gg (fonte: Quaderno 10 Osservatorio Torino Lione)

Infine per le tratte condivise dalla Torino Lione e dalla Linea Storica sono emersi i valori in tabella 6:

TIPOLOGIA TRENI	BUSS - AV	AV - TO S. P	TO S. P
PAX LUNGA PERCORRENZA	22	//	22
PAX REGIONALI - SFM	72	144	144
PAX MONTAGNA	//	//	//
MERCI - TC	172	//	130
TOTALE	266	144	296

Tabella 6: Stime circolazione tratte condivise al 2030, in termini di treni/gg (fonte: Quaderno 10 Osservatorio Torino Lione)

Emerge dall'analisi dei dati riportati una potenzialità massima di 172 treni merci al giorno, valore questo che può facilmente essere convertito nella capacità della linea se si prendono in considerazione treni con carichi medi di 800 tonnellate utili, valore in linea con le direttive europee [7].

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

#### **3.1 Piano Europeo per il 2020**

Il pacchetto 2020 per il clima e l'energia comprende una serie di norme che vincolano l'UE al raggiungimento di obiettivi in materia di clima ed energia entro il 2020. E' contenuto nella Direttiva 2009/29/CE ed entra in vigore nel giugno 2009, con validità dal gennaio del 2013 al 2020. Nel pacchetto vengono esposti i seguenti obiettivi [8]:

1. Riduzione del 20% delle emissioni di CO<sub>2</sub> rispetto al 1990, per il raggiungimento di questo target si è intervenuto con i seguenti strumenti:
  - Introduzione di un sistema di scambio quote di emissione (ETS), ovvero un meccanismo adottato per ridurre le emissioni di gas a effetto serra dei grandi impianti dei settori energetico, industriale e dell'aviazione. L'ETS interessando circa il 45% delle emissioni gas a effetto serra dell'UE, mira alla riduzione del 21% delle emissioni dei comparti sopra elencati rispetto al 2005.
  - La promozione dell'insieme degli obiettivi nazionali di riduzione delle emissioni, in questo caso ci si focalizza sui settori che non rientrano nelle ETS, ovvero edilizia, agricoltura, rifiuti e trasporti, aviazione esclusa; raggruppando il 55% delle emissioni totali dell'UE. Gli obiettivi variano a seconda del reddito nazionale e prevedono una riduzione del 20% per i paesi più ricchi ed un aumento massimo del 20% per i paesi più poveri, i quali devono impegnarsi ugualmente a ridurre le emissioni.
2. Soddisfare il 20% del fabbisogno energetico tramite l'utilizzo di fonti rinnovabili; entrando più nel dettaglio l'obiettivo 20% significa bisare il

9.8% del 2010. Nel settore dei trasporti invece è prevista una quota del 10% coperta dalle energie rinnovabili.

3. Migliorare del 20% l'efficienza energetica, meta raggiungibile con le misure contenute:
  - Nella direttiva sull'efficienza energetica.
  - Nel piano per l'efficienza energetica.

### **3.2 Piano Europeo per il 2030**

Il quadro 2030 per il clima e l'energia si focalizza sul periodo che intercorre tra il 2021 ed il 2030 e pone i seguenti obiettivi [9]:

1. Ridurre almeno del 40% le emissioni di gas a effetto serra rispetto ai valori del 1990, traguardo ottenibile tramite una riduzione del 43% delle emissioni dei settori interessati dal sistema ETS, mentre i settori esterni al sistema ETS dovranno ridurre le emissioni del 30% rispetto ai valori del 2005.
2. Aumentare la quota di fabbisogno energetico attinto da fonti rinnovabili fino ad un valore pari al 32% del totale, l'obiettivo iniziale del 27% è stato rivisto a rialzo nel 2018.
3. Incrementare l'efficienza energetica almeno del 32.5%, l'obiettivo iniziale era il raggiungimento del 27%, valore questo rivisto al rialzo nel 2018, con la possibilità di un'ulteriore modifica al rialzo entro il 2023.

Inoltre il quadro ha anche la finalità di creare un sistema che sia in grado di:

- Assicurare energia a prezzi più accessibili a tutti i consumatori.
- Ridurre la dipendenza europea dalle importazioni di energia e al contempo rendere più sicuro l'approvvigionamento.
- Creare nuovi posti di lavoro.

### **3.3 Piano Europeo per il 2050**

Presentando la sua visione strategica a lungo termine, il 28 novembre del 2018 la Commissione europea si è fissata come obiettivo l'impatto climatico zero entro il 2050. Vengono seguiti i principi dell'accordo di Parigi, ovvero la limitazione del riscaldamento globale al di sotto dei 2°C, con l'impegno a limitare tale valore entro il grado e mezzo [9].

### **3.4 Obiettivi europei per il settore dei trasporti**

Nell'ultimo secolo si è assistito ad una crescente domanda di trasporto e come diretta conseguenza si è generata una sempre più complessa e capillare offerta di trasporto. Nello stesso lasso di tempo si è andati incontro ad un progressivo aumento della popolazione urbana, la quale ad oggi rappresenta circa il 73% del totale e inevitabilmente nonostante la diffusione della motorizzazione non può usufruire dell'automobile come unico mezzo di trasporto. Di pari passo alla crescita del parco circolante si è assistito allo sviluppo delle infrastrutture con conseguenti benefici sia per le industrie automobilistiche che per il settore edile.

Questo modello al giorno d'oggi presenta dei limiti a causa:

- Della saturazione del suolo.
- Della limitatezza della risorsa energetica.
- Di una nuova consapevolezza dell'importanza della questione ambientale.
- Della necessità di mantenere le infrastrutture esistenti.
- Dell'alto tasso di incidentalità del trasporto stradale.

Attualmente il settore dei trasporti assorbe circa il 33% del consumo di energia in Europa, in Italia si ha un valore lievemente superiore, infatti viene raggiunto il 34%.

Nel 2010 le emissioni di CO<sub>2</sub> derivanti dai trasporti rappresentavano nel contesto europeo quasi il 25% del totale, oggi questo valore tende a crescere

in termini percentuali, toccando circa il 33%. L'incremento percentuale nel campo dei trasporti si è avuto poiché nel periodo in questione l'industria ha ridotto il suo contributo, non solo per merito dello sviluppo tecnologico, ma anche per la tendenza a terziarizzare altrove. Il campo dei trasporti è caratterizzato in maniera dominante dall'uso di veicoli con uso distribuito dell'energia, in essi il petrolio contenuto in serbatoi posti a bordo del mezzo funge da risorsa energetica. Costituiscono un'eccezione i sistemi operanti su installazioni fisse (treni e metropolitane), i quali si avvalgono di una rete elettrificata dalla quale attingono energia.

Il petrolio ha un'elevatissima densità energetica e ad oggi detiene quasi il monopolio nel campo dei trasporti, catturando un valore compreso tra il 93 ed il 94% della domanda di trasporto.

In tabella 7 vengono rappresentate le incidenze percentuali delle varie modalità di trasporto, esse tuttavia sono condizionate in maniera diversa dalle fluttuazioni del prezzo del petrolio:

- Nel trasporto stradale il costo del petrolio compromette nettamente gli utili, soprattutto nel caso del trasporto merci, dove il costo energetico rappresenta il 30% del totale.
- Nel trasporto ferroviario l'incidenza è nettamente minore, infatti i costi della risorsa energetica rappresentano solo il 4-5% del costo totale. Vengono sfruttati sistemi di ricarica energetica oppure si tendono a ridurre le masse sospese.
- Nel trasporto aereo si ha una forte incidenza, infatti il costo del petrolio rappresenta circa il 30% del totale.
- Di difficile interpretazione è il caso del trasporto marittimo dove si attua una politica di compensazione, infatti all'aumentare del costo del petrolio corrisponde una diminuzione della velocità di crociera e quindi una riduzione dei consumi [4].

MODALITA' DI TRASPORTO	VARIAZIONE 1990-2004	INC. ASS. [%] 2004	INC. ASS [%] 2010
STRADALE	27%	82,5	82,6
FERROVIARIA	1%	2,6	2
AEREA	67%	13,5	13,7
NAVALE	-23%	1,4	1,7

Tabella 7: Incidenza modalità di trasporto UE (fonte: Corso Tecnica ed Economia dei Trasporti, Bruno Dalla Chiara, Anno Accademico 2017-2018)

Dai dati esposti risulta evidente come in termini di consumi ed emissioni il petrolio sia una risorsa ancora troppo vincolante ed impattante nelle dinamiche del trasporto.

Il 28 marzo 2011 la Commissione europea ha adottato il Libro bianco sui trasporti, il quale attraverso una serie di target da raggiungere mira allo sviluppo di uno spazio unico europeo dei trasporti, competitivo e sostenibile. All'interno del Libro bianco sui trasporti sono stati rimarcati dieci obiettivi da raggiungere per la realizzazione di un sistema dei trasporti competitivo ed efficiente sul piano delle risorse [10]:

- Dimezzare nei trasporti urbani l'uso delle autovetture ad alimentazione tradizionale entro il 2030, puntando alla totale eliminazione entro il 2050. Inoltre conseguire nelle principali città sistemi di logistica urbana a zero emissioni di CO<sub>2</sub> entro il 2030.
- Ridurre nel trasporto marittimo del 40%, entro il 2050, le emissioni di CO<sub>2</sub> dovute agli oli combustibili (se praticabile del 50%) ed incrementare nel trasporto aereo l'utilizzo di carburanti a basso tenore di carbonio, con l'obiettivo di raggiungere il 40% entro il 2050.
- Entro il 2030 il 30% del trasporto su strada su percorrenze superiori ai 300 km deve essere dirottato su ferrovia o su vie navigabili, tale valore dovrebbe poi raggiungere il 50% entro il 2050.
- Completamento della rete ad alta velocità europea entro il 2050 ed al contempo la maggior parte del trasporto passeggeri sulle medie distanze deve avvenire su ferrovia, mentre entro il 2030 triplicare la rete ferroviaria ad alta velocità.
- Completare entro il 2030 le reti infrastrutturali TEN-T.
- Collegare tra di loro tutte le principali reti ferroviarie, aeroportuali, marittime e fluviali entro il 2050.
- Rendere operativa in Europa entro il 2020 la SERAS e portare a termine lo spazio aereo comune europeo. Applicare sistemi equivalenti di gestione del traffico marittimo e via terra, nonché il sistema di navigazione satellitare europeo (Galileo);
- Definire entro il 2020 un quadro per un sistema europeo di informazione, gestione e pagamento nel settore dei trasporti multimodali.

- Ridurre l'incidentalità, con l'ambizioso obiettivo delle "zero vittime" da raggiungere entro il 2050.
- Introdurre le logiche del "chi utilizza paga" e del "chi inquina paga", facendo in modo che il settore privato si impegni ad eliminare le distorsioni, a generare entrate e a garantire i finanziamenti per investimenti futuri nel settore dei trasporti.

### **3.5 La Convenzione delle Alpi**

L'Arco Alpino interessa otto Paesi: Austria, Francia, Germania, Italia, Liechtenstein, Principato di Monaco, Slovenia e Svizzera. Tra i suoi monti vivono 14 milioni di abitanti e vede quotidianamente ingenti flussi di attraversamento, quindi è risultato necessario regolamentare il settore dei trasporti ed adottare misure per andare incontro ad uno sviluppo sostenibile. La Convenzione delle Alpi, siglata il 7 novembre del 1991 a Salisburgo entra in vigore il 6 marzo del 1995, seguita poi dalla Convenzione dei Carpazi [sito 14].

In maniera del tutto generale nella Convenzione delle Alpi vengono trattati i seguenti temi:

- Biodiversità e conservazione della natura; nell'Arco Alpino vivono più di 30.000 specie animali e 13.000 specie vegetali, affinché le specie siano tutelate risulta necessario predisporre corridoi ecologici.
- Cambiamenti climatici, le Alpi stanno vedendo aumentare le temperature due volte più velocemente rispetto al resto dell'emisfero boreale, quindi è imprescindibile attuare politiche di riduzione delle emissioni e razionalizzazione dei flussi di traffico.
- Energia, le Parti contraenti si sono impegnate ad adottare misure in ambito energetico, al fine "di ottenere forme di produzione, distribuzione e utilizzazione dell'energia che rispettino la natura e il paesaggio, e di promuovere misure di risparmio energetico".
- Foreste, esse ricoprono il 40% circa del territorio alpino, percentuale questa che sta crescendo a causa dell'abbandono di aree coltivate e dell'aumento delle temperature. Il patrimonio boschivo può essere

utilizzato come strumento di difesa del suolo, fonte rinnovabile di materie prime, opportunità occupazionale e strumento di mitigazione dei cambiamenti climatici.

- Green economy, attuando un processo di transizione delle economie alpine verso un modello a basse emissioni di carbonio.
- Agricoltura di montagna, essa deve avere il compito “di assicurare, nell’interesse della collettività, la gestione del paesaggio rurale tradizionale, nonché una agricoltura adeguata ai luoghi e in armonia con l’ambiente, tenendo conto delle condizioni economiche più difficoltose”.
- Pericoli naturali derivanti dall’orografia tipica delle Alpi, pertanto è opportuno sensibilizzare la popolazione, incentivando l’attuazione di interventi mirati alla prevenzione, ma che allo stesso tempo risultino di basso impatto su paesaggi ed ecosistemi.
- Popolazione e Cultura, preservando l’identità culturale e sociale delle popolazioni locali.
- Uso del suolo, solo il 20% del territorio alpino è adatto ad ospitare insediamenti umani, quindi risulta essere di fondamentale importanza uno sviluppo rispettoso dell’ambiente.
- Turismo, esso rappresenta una delle principali fonti di reddito per il 40% dei comuni alpini, ne deriva che l’offerta turistica deve essere in grado di offrire forme di mobilità alternative e nuovi modelli di business, volti a destagionalizzare il turismo.
- Gestione dell’acqua, da controllare mediante opere idrauliche compatibili con la natura e finalizzate anche allo sfruttamento dell’energia idrica.

Dunque, in sintesi, nel documento è di immediato riscontro:

- L’impegno a ridurre incidentalità e pericolosità derivanti dall’orografia alpina e dal trasporto intra-alpino.
- L’impegno all’instaurazione di una politica dei trasporti armonizzata tra i diversi Paesi.
- L’impegno alla tutela della biodiversità alpina e del patrimonio naturale e culturale.

- L'impegno a garantire la mobilità attraverso una maggiore efficacia e sostenibilità dei sistemi di trasporto, incentivando il ricorso all'intermodalità.
- L'impegno a limitare l'inquinamento atmosferico ed acustico.



*Figura 12: Arco Alpino, rappresentazione GIS (fonte: Convenzione delle Alpi)*

## 4. Il trasporto intermodale

Questo capitolo è stato elaborato a partire dal testo “Sistemi di trasporto intermodali” di Bruno Dalla Chiara [5].

### 4.1 Tipologie di trasporto ed unità di trasporto intermodali

E' possibile distinguere differenti tipologie di trasporto:

1. **Trasporto multimodale**, si utilizzano almeno due differenti modi di trasporto in sequenza, quando si effettua il cambio modale si ha la manipolazione della merce.
2. **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]. Ne deriva che per poter parlare di trasporto intermodale bisogna ricorrere ad almeno due diverse tipologie di trasporto, ad esempio è facile trovare combinazioni che prevedano l'interazione strada-rotaia oppure trasporto marittimo combinato al trasporto stradale.
3. **Trasporto combinato**, in questo caso si parte dalla combinazione di due modalità di trasporto, una è dominante rispetto all'altra, infatti il tragitto viene coperto per gran parte su ferrovia o su vie navigabili, mentre i percorsi iniziali e terminali, vengono prima pianificati in modo tale da essere i più brevi possibili e poi effettuati su strada.

In prima istanza si individuano due distinte modalità di trasporto combinato:

- Tra i terminal container dei porti e gli inland terminal, nei quali si effettua il trasbordo strada-rotaia; in questo caso si è soliti usare container marittimi.

- Tra inland terminal, in questo caso si tratta di puro combinato strada-rotaia, il quale può essere suddiviso in accompagnato o non accompagnato, in base alla presenza o meno della motrice.

Entrando nel dettaglio è possibile eseguire un'ulteriore classificazione:

- Trasporto combinato strada-mare (sea-road transport, transroulage)
- Trasporto combinato ferrovia-mare (rail-sea transport, ferroulage)
- Trasporto combinato strada-rotaia (rail-road transport, ferroutage)

All'interno del combinato strada-rotaia si colloca l'Autostrada Viaggiante, ovvero una tipologia di trasporto che prevede il caricamento di veicoli stradali completi, con o senza conducente a bordo, su vagoni ferroviari; essi possono essere a pianale ultrabasso o ultra-ribassato, questa peculiarità deriva dall'esigenza di rendere la sagoma compatibile al gabarit ferroviario.

In questo contesto l'unità di trasporto intermodale (UTI) costituisce l'elemento basilare per il trasporto intermodale ed è rappresentata da una struttura dalle dimensioni unificate e con le tipicità di rigidità ed indeformabilità. Le UTI vengono classificate in:

- Container marittimi e terrestri
- Casse mobili
- Semirimorchi

Si procede dunque alla descrizione dettagliata delle diverse tipologie di UTI.

**Un container** presenta le seguenti caratteristiche generali:

- Costituisce un contenitore totalmente o parzialmente chiuso, destinato al contenimento della merce.
- Ha una struttura di carattere definitivo, non scomponibile e sufficientemente resistente da consentire un utilizzo ripetuto.
- È adatto al trasporto merci senza rottura di carico tra modi di trasporto diversi.

- E' concepito per essere facilmente movimentabile, soprattutto nelle fasi di trasferimento tra modi di trasporto differenti.
- E' adatto allo stivaggio.

Utilizzando un approccio ancora più dettagliato si distinguono due tipologie di container, ovvero il container marittimo, che segue la normativa ISO ed utilizzato appunto nel trasporto marittimo ed il container terrestre.

**Il container marittimo** si distingue per le peculiarità di seguito riportate:

- E' dotato ai quattro spigoli di blocchi d'angolo di dimensioni standardizzate, muniti sulle superfici esterne di fori, con la funzione di consentire l'ancoraggio delle unità per il carico, durante i trasbordi e le fasi di trasporto proprio. Il blocco si accoppia con uno strumento con testa a martello denominato twist-lock, anch'esso normalizzato ISO.
- Si trova in commercio con le seguenti misure:
  - o Lunghezze: 20', 30', 40', 45';
  - o Altezze: 8', 8'6", 9'6";
  - o Larghezza: 8'.

Volendo fornire un quadro più preciso sulle dimensioni esterne di tutte le categorie di container si riportano i valori in tabella:

DESIGNAZIONE	ALTEZZA [mm]	LARGHEZZA [mm]	LUNGHEZZA [mm]	TONNELLATE
1A	2438	2438	12192	30
1AA	2591	2438	12192	30
1B	2438	2438	9125	25
1C	2438	2438	6058	20
1D	2438	2438	2991	10
1E	2438	2438	1968	7
1F	2438	2438	1460	5
2A	2100	2300	2920	7
2B	2100	2100	2400	7
2C	2100	2300	1450	7

Tabella 8: ISO: dimensioni esterne dei contenitori alla temperatura di 20°C

- I container per il trasporto a temperatura controllata comprendono sia i container frigoriferi o caloriferi che quelli isoterfici, essi si basano su alimentazione elettrica proveniente dal deposito o dalla nave e consentono di avere temperature comprese tra i  $-30^{\circ}\text{C}$  ed i  $+28^{\circ}\text{C}$ .
- I container cisterna hanno capacità che varia in funzione del prodotto che trasportano ed hanno un perimetro pari a: 20', 30' o 40'.
- Viene scelta come unità di misura il TEU (Twenty Feet Equivalent Unit).

**Il container terrestre (T)** presenta le seguenti peculiarità:

- Si trova in commercio con le misure di seguito riportate:
  - o Larghezza esterna pari a 2.5 m, valore equivalente ad una larghezza utile interna di 2.44 m.
  - o Altezza massima raggiunta pari a 2.6 m.
- La sovrapposizione massima avviene su tre livelli, differentemente da quanto accade per i container marittimi, dove le norme ISO prevedono al massimo sei livelli di sovrapposizione.
- Oltre alla presenza di blocchi d'angolo, come nel caso dei container marittimi, si hanno anche prese per pinze.

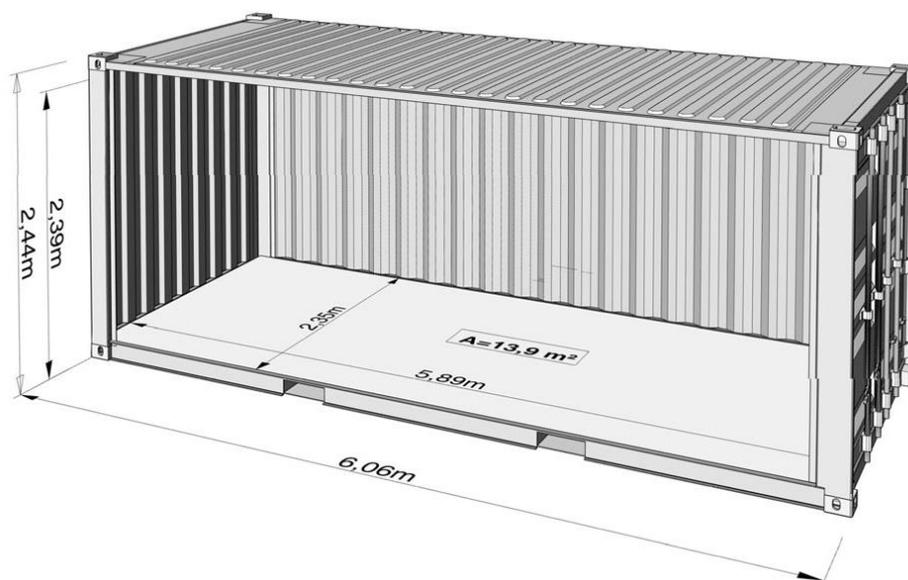


Figura 13: Rappresentazione TEU (fonte: Skalady Kolim)

## Casse mobili

Trattasi di un'unità per il trasporto intermodale concepita per il trasporto combinato strada-rotaia, essa è adatta alla movimentazione verticale ed in alcune versioni è sovrapponibile solo se scarica. Esistono diverse configurazioni, infatti è possibile riscontrare varianti telonate, a cisterna o a box. Le larghezze sono modulari e variano dai 2500 mm delle nuove configurazioni ai 2600 mm delle casse mobili isothermiche. Le lunghezze invece vanno dai 7.150 mm ai 13.600 mm.

La cassa mobile ha sin da subito dimostrato la sua predisposizione al trasporto combinato e presenta i seguenti pregi e difetti:

- Viene ridotta la tara caricata sul carro ferroviario, infatti a differenza dei semirimorchi non presenta sia il rodiggio che parte della massa del telaio del veicolo.
- La presenza di differenti lunghezze la rende particolarmente flessibile rispetto a molteplici configurazioni di carico.
- Possono essere allestite casse mobili adatte per ogni tipologia di carico.
- Nella fase di trasporto stradale la tara della cassa mobile riduce il carico utile trasportabile.
- Quando la cassa mobile è carica non è sovrapponibile.
- Le casse mobili sono dotate di gambe ripieghevoli atte a sostenerle ad un'ideale altezza quando sono lasciate in sosta.
- Il veicolo che le trasporta deve essere dotato di sospensioni pneumatiche che consentano la variazione dell'altezza dal piano di carico da terra durante le fasi dell'operazione di scarrabilità.



Figura 14: Cassa mobile telonata (fonte: <http://www.autoscuolamarche.com/>)

## Semirimorchi

Il semirimorchio è stata la prima UTI che ha consentito negli anni sessanta, con il carico orizzontale su carro ferroviario, l'integrazione tra strada e rotaia. In questo periodo storico sono stati affrontati per la prima volta i problemi di gabarit ferroviario. Come conseguenza sono state elaborate diverse soluzioni che prevedevano la creazione di vani nel carro, in modo tale da abbassare il piano del veicolo e ricavare altezza utile, fornendo spazio al rodiggio del semirimorchio. Si possono ricondurre a questo schema i carri Kangourou, realizzati in Francia ed i carri Wippen, realizzati in Germania.

Negli anni settanta è avvenuta la trasformazione nella movimentazione con l'adozione del carico verticale dei semirimorchi, tramite l'utilizzo di gru, per merito di ciò il tempo di gruaggio è sceso a circa 2 minuti, inoltre parallelamente viene introdotto l'ordine di carico casuale.

Il semirimorchio presenta il problema di non consentire la presa superiore come avviene con i container ISO. Per superare questo inconveniente e per poter quindi effettuare le operazioni di movimentazione verticale è risultato necessario ricorrere ad un apposito sistema di aggancio tramite "pinze" montate su gru, le quali trovano alloggio in apposite "prese per pinze" situate sul semirimorchio.



Figura 15: Semirimorchio (fonte: <http://www.interdrive.it/>)

L'adozione della gru ha permesso di superare le maggiori penalizzazioni derivanti dallo schema di carico orizzontale, ovvero:

- Carico e scarico sequenziale del treno
- Tempo impiegato per ogni singola operazione

I semirimorchi vengono classificati in due gruppi:

- Semirimorchi a rodiggio incorporato
- Semirimorchi a carrello separabile

E' stato detto che sotto il termine UTI possono essere raccolte differenti tipologie di unità di caricamento, attuando un'omogeneizzazione. In fase di quantificazione dei flussi di traffico si può ricorrere ad alcune relazioni empiriche, di seguito riportate, che permettono di convertire le diverse unità di caricamento, in base alle esigenze richieste dal caso particolare:

- Un TEU equivale ad un container da 20'
- Una UTI equivale a 2.3 TEU
- Ogni unità di caricamento (UC) comporta un tiro gru
- Una UTI è formata in media da 1.4 UC
- Ogni modulo di carico ospita in media una UTI

## **4.2 Terminali intermodali**

Un terminal o terminale intermodale consiste nell'infrastruttura, dotata dei necessari impianti, dove si effettua il trasferimento modale di unità di caricamento specializzate. La Commissione europea lo definisce come "luogo equipaggiato per il cambio di modalità ed il deposito delle unità di trasporto intermodale, essendo quest'ultimo 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 merci stesse".

E' stato detto che le UTI possono essere divise in:

- UTI destinate al trasporto stradale: container terrestri, semirimorchi e casse mobili.
- Container marittimi.

Le dotazioni ferroviarie esterne (fasci di appoggio, fasci di presa e consegna) ed il sistema d'immissione dei treni in linea influenzano il layout e l'operatività di un terminal intermodale.

Dalla seconda metà degli anni novanta la produttività dei terminali è risultata fortemente connessa alle operazioni ferroviarie ed al concetto di gestione dinamica dei binari operativi. Un approccio gestionale dinamico tende a sfruttare i binari sottogru fino a giungere ad una produttività di 2-3 o addirittura 4 coppie di treni a giorno per binario, risultato questo molto distante rispetto a quanto offerto da una gestione statica, la quale permette al massimo una produttività pari ad una coppia di treni al giorno.

Sotto il profilo funzionale, si è assistito all'attuazione di nuove modalità di esercizio impostate sui terminal gateway. La funzione gateway implica che le UTI siano smistate con un approccio equivalente concettualmente a quello adottato dalle selle di lancio, ma più moderno. In altre parole i terminal gateway stanno sostituendo le selle di lancio e sono definibili come terminal di smistamento. Nei terminal gateway si provvede al trasbordo delle UTI tra i treni per mezzo delle tecniche di movimentazione verticale o eventualmente con smistamento orizzontale (in piano) dei carri.

La scelta tra smistamento orizzontale dei carri e la movimentazione verticale delle UTI dipende da diversi fattori, come:

- L'entità di traffico che deve essere smistata tra diversi treni.
- La disponibilità o meno di un sistema di smistamento vagoni.
- I costi dei due differenti sistemi di smistamento.
- La disponibilità o meno di un adeguato numero di binari (operativi e di sosta).
- La capacità di movimentazione verticale (gru, superfici).
- Il livello di equilibrio tra arrivi e partenze.

In sintesi, i terminali intermodali destinati al trasporto combinato strada-rotaia non necessitano normalmente di estese aree di deposito, come invece accade nei terminal per container, tipicamente portuali. Un esempio di grande efficienza in tal senso è fornito dal terminal gateway di Busto Arsizio-Gallarate, il quale ha a disposizione solo piccole aree destinate agli stalli, nei quali si riserva la sosta dei semirimorchi e ad oggi serve 26-27 coppie di treni

al giorno. La progettazione e l'esercizio ferroviario moderno europeo favoriscono la realizzazione e l'impiego di terminal gateway, in essi arrivano e partono treni completi a composizione bloccata per il trasporto di merci, ciò significa che il treno viene solo caricato e scaricato senza modificare la sua composizione. In futuro la tendenza è quella di abbandonare la gestione statica dei terminal, mirando ad un incremento della potenzialità. Questo target è raggiungibile con approcci di tipo dinamico, che appunto consentono la lavorazione di due-tre coppie di treni al giorno.

Un terminale intermodale è costituito da diverse componenti, in particolar modo ricordiamo:

- **Binari**, classificati in:

- **Binari operativi**, sono quelli accessibili alle gru, quindi dedicati alle operazioni di carico e scarico, a loro volta vengono suddivisi in passanti ed in tronchi. La soluzione con binari passanti è certamente più flessibile e viene adottata quando si hanno a disposizione buoni raccordi ferroviari all'interno del terminal. Nei casi in cui venissero utilizzate gru gommate è requisito necessario la realizzazione di binari a raso. I binari tronchi hanno il pregio di limitare l'intersezione tra vie ferroviarie e stradali. Per andare incontro alle direttive europee i binari operativi di nuova costruzione devono avere una lunghezza compresa tra i 700 ed i 750 m. Se si esaminano i terminal esistenti è facile riscontrare lunghezze che generalmente si attestano tra i 450 ed i 500 metri.

- **Binari di sosta e manovra**, sono dedicati alla rotazione dei carri, quando non sono disponibili servizi di tipo shuttle o al ricovero dei treni, in modo da non ostacolare i binari operativi.

Il loro numero è quantificabile con la seguente formula:

$$b_{sm} = d \times b_o - b_o = b_o \times (d - 1)$$

Dove:

$b_{sm}$  = binari di sosta o manovra;

$b_o$  = binari operativi;

$d$  = coefficiente di dinamicità.

- **Binari di presa e consegna**, il fascio di presa e consegna deve essere costituito almeno da tre binari elettrificati da destinarsi: uno al treno in arrivo, uno al treno in partenza ed uno alla manovra del locomotore elettrico di linea. E' buona norma disporre il fascio a monte dei binari operativi. Anche in questo caso è consigliata una lunghezza compresa tra i 700 ed i 750 metri.
  
- **Aree di movimentazione**, distinte in:
  - **Corsie di carico e scarico**, sono dedicate agli scambi di UTI tra i veicoli stradali e quelli ferroviari, oppure tra i veicoli stradali e le zone di deposito. La larghezza minima prevista è di 3.5 metri.
  - **Corsie di scorrimento**, si affiancano a quelle di carico e scarico, adottandone lo stesso senso di marcia. Tale schema consente le operazioni di sorpasso. Anche in questo caso la larghezza è pari a 3.5 metri.
  - **Piazzale di manovra dei veicoli stradali**, viene posto all'estremo dei binari operativi e permette l'inversione di marcia. Nel caso in cui dovesse ospitare una rotatoria, essa deve avere diametro non inferiore ai 30 metri.
  
- **Aree di deposito**

Le dimensioni delle aree di deposito sono direttamente collegate alla tipologia di terminal, infatti nel caso di un terminal container le aree di stoccaggio sono importanti ed aumentano proporzionalmente al numero di TEU's movimentate, viceversa nel caso di terminale intermodale la

discriminante è fornita dalla tipologia di gestione adottata. Terminal con gestione statica avranno bisogno di aree di deposito maggiori rispetto ai terminal con gestione dinamica.

- **Mezzi di movimentazione**

- **Magazzini**

E' Possibile che la merce debba essere messa a deposito in zone atte allo stoccaggio di materiale in pallet o in determinati range termici. In altri casi si preferisce evitare alla merce l'azione degli agenti atmosferici, quindi si ricorre al deposito in magazzino.

- **Gate d'ingresso**

La produttività complessiva di un terminal è influenzata anche dalle operazioni che vengono svolte all'ingresso dello stesso.

Principalmente vengono svolte attività di:

- **Check-in**, ovvero consegna dei documenti e scambio di informazioni sulle operazioni da svolgere.
- **Controllo del veicolo e delle UTI**, quest'operazione viene svolta per segnalare eventuali danni o constatazioni da parte del proprietario.

Oggi si tende a snellire queste procedure ricorrendo a sistemi altamente automatizzati, come avviene ad esempio al terminal di Busto Arsizio-Gallarate, dove è stato introdotto il sistema di portali OCR (Optical Character Recognition). Questa tecnologia posizionata agli ingressi nord e sud del terminal permette di leggere i seguenti dati sui convogli ferroviari:

- Posizione dell'UTI sul carro
- Numero del carro.
- Numero dell'UTI.
- Codice ISO.

- Presenza di sigilli.

Altri portali sono stati installati nell'area check-in del terminal, in modo tale da permettere un'accelerazione delle procedure di registrazione dei mezzi stradali in ingresso.



Figura 16: Portale OCR (fonte: <https://www.hupac.com/>)

Un altro sistema utilizzato per velocizzare le procedure di identificazione è rappresentato dall'ILU-Code (Intermodal Load Unit-Code), trattasi di un sistema di contrassegno per semirimorchi e casse mobili che entra in vigore il primo luglio del 2011 ai sensi della norma EN 13044 e che diventa obbligatorio dal 30 giugno 2014.

L'ILU-Code permette di [sito15]:

- Identificare in maniera semplice ed univoca il proprietario dell'UTI.
- In caso di cambio di proprietà consente di avere ugualmente una codifica tecnica.
- Avere compatibilità con i sistemi di gestione della flotta per container con codice BIC.

### **4.3 Interporti o piattaforme logistiche**

L'Interporto viene definito come "concentrazione territoriale di organismi ed imprese indipendenti aventi a che fare con il trasporto delle merci (ad esempio, corrieri, spedizionieri, operatori del trasporto dogane) e di servizi ausiliari (ad esempio, deposito, manutenzione e riparazione), che include almeno un terminal, nonché i servizi tecnici ed amministrativi per la struttura stessa". La V. legge 4.8.1990 n. 240 resa operativa con successivi DM individua in ambito normativo italiano, negli interporti, quelle infrastrutture capaci di favorire lo scambio delle merci da una modalità all'altra di trasporto.

Tra i fini che portano alla creazione di un interporto ricordiamo:

- La volontà di razionalizzare il flusso merci su strada e su ferrovia.
- L'obiettivo di ottimizzare le risorse ed i mezzi impiegati.
- Il compito di riorganizzare, portando ordine sul territorio e nel sistema viario.
- L'impegno a fornire un sistema di servizi agli operatori

Gli interporti sono stati distinti in due livelli:

- Di primo livello, ovvero interporti con rilevanza nazionale, a questa categoria appartiene anche Torino Orbassano.
- Di secondo livello, trattasi di interporti con raggio di influenza ridotto e dimensioni più contenute, tendenzialmente servono aree regionali, a questa categoria ad esempio appartiene Novara Boschetto.

Quindi in linea generale un interporto è un'infrastruttura che si estende territorialmente su superfici rilevanti e con aree che vanno da qualche centinaia di migliaia di metri quadri, fino ad alcuni milioni, destinata a:

- Accogliere aziende che si occupano principalmente di trasporti e logistica.

- Integrare sia in maniera prettamente infrastrutturale che amministrativa i vari modi di trasporto, più frequentemente il trasporto stradale e quello ferroviario, ma se è possibile anche i settori fluviale/marittimo e quello aereo.
- Fornire servizi alle aziende insediate, garantire il magazzinaggio ed il controllo degli ingressi e delle uscite.

All'interno di un'area interportuale non possono mancare:

- Aree di sosta
- Aree riservate alla mobilità
- Aree per aziende di spedizione
- Aree per corrieri, operatori del trasporto merci e logistica
- Area per terminale intermodale
- Aree per magazzini generali
- Aree di stoccaggio a temperatura controllata destinate a derrate deperibili
- Impianti ferroviari e per il trasporto combinato
- Uffici
- Presidi di sicurezza
- Vigili del fuoco
- Officine per veicoli e per riparazione container e casse mobili
- Stazione di rifornimento
- Area doganale
- Hotel/motel
- Ristorante
- Bar con sale relax e riposo
- Servizio medico
- Lavanderia
- Area per shopping
- Aree di rispetto e zone vincolate



Figura 17: Planimetria interporto di Bologna (fonte: <https://www.interporto.it/>)

#### **4.4 Movimentazione delle UTI e relative attrezzature**

E' stato sottolineato che il trasporto intermodale implica il passaggio delle UTI da un modo di trasporto ad un altro, diretta conseguenza di ciò è la necessità da parte dei terminal di dotarsi di attrezzature per la movimentazione.

In primo luogo si ritiene necessario effettuare una distinzione tra veicoli e mezzi di movimentazione:

**Veicoli**, suddivisi a loro volta in:

- **Veicoli stradali:**

- **Autocarri**, presentano una portata di carico utile variabile da meno di una tonnellata a più di 14 tonnellate.
- **Autotreni**, trattasi di veicoli a motore accoppiati ad un rimorchio con lunghezza massima prevista in Italia di 18.75 metri, in questo caso il peso massimo complessivo a pieno carico è di 44 tonnellate. Data l'elevata lunghezza hanno scarsa manovrabilità rispetto agli autocarri, ma permettono di abbattere i costi unitari. Il trattore

stradale è provvisto di vano di carico, al quale poi si allega un rimorchio.

- **Autoarticolati**, sono i mezzi più idonei al trasporto dei container anche grazie alla maggiore manovrabilità rispetto agli autotreni, normalmente il peso massimo complessivo si colloca sulle 26 tonnellate. In questo caso il trattore stradale è sprovvisto di vano di carico.



Figura 18: Autocarro (fonte: <https://www.logisticamente.it/>)



Figura 19: Autotreno (fonte: Wikipedia)



Figura 20: Autoarticolato (fonte: Wikipedia)

- **Veicoli ferroviari per il trasporto combinato non accompagnato**, in questo caso la discriminante principale, che orienta la scelta sulla tipologia di carro da adottare, è rappresentata dalla sagoma limite ferroviaria da rispettare.

Si distinguono dunque:

- **Carri porta container**, questa tipologia di carro è adottata in assenza di particolari limitazioni, il carico del container può avvenire direttamente dall'alto, quindi con movimentazione verticale, nel caso in cui si ha semplice appoggio sul pianale. Altrimenti i container possono essere fissati rigidamente al telaio del carro tramite blocchi d'angolo.
- **Carri a pianale ribassato**, trattasi di una varietà di carri che permette il carico di autoveicoli pesanti e di semirimorchi, in quest'ottica è stata concepita "l'autostrada viaggiante".
- **Carri Kangourou**, grazie alla presenza di particolari concavità il carro permette di ospitare gli assi delle UTI e rientrare nei vincoli massimi di altezza.
- **Carro poche fixe (a tasca fissa)**, con questa tipologia di carro il carico può avvenire solo verticalmente, per i semirimorchi l'introduzione dei pneumatici è favorita dalla presenza di apposite guide laterali.

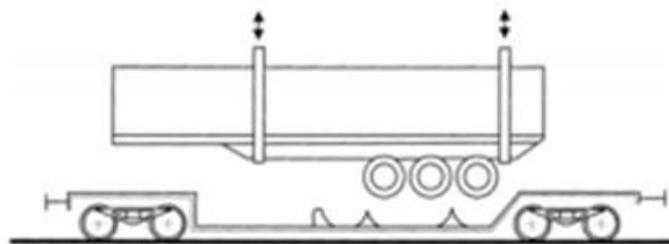


Figura 21: Carro poche fixe (fonte: Slide TET Anno Accademico 2017-2018)

- **Carro Wippen**, tramite una rampa laterale mobile o fissa si esegue il caricamento mediante l'utilizzo di trattori stradali.

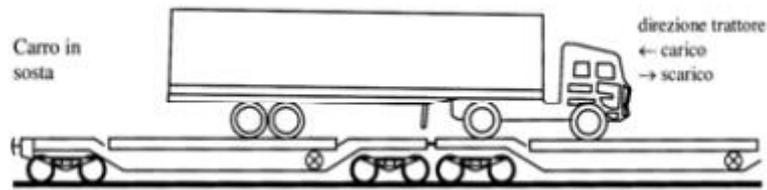


Figura 22: Carro Wippen (fonte: Slide TET Anno Accademico 2017-2018)

- **Carri per casse mobili**, il principio di funzionamento è simile a quello dei carri per container aggiungendo due accortezze: la lunghezza è adattata a quella di una cassa mobile e l'altezza è ridotta in modo tale da poter accogliere casse mobili con altezza normalizzata pari a 2.67 metri.
  
- **Veicoli ferroviari per il trasporto combinato accompagnato (autostrada ferroviaria)**, il trasporto combinato accompagnato ricorre alla tecnica di carico Ro-Ro (Roll on – Roll off), utilizzando la trazione del veicolo stesso o una trazione di servizio. Trattasi di una modalità di trasporto diffusa in nazioni tipicamente di transito, come avviene nel contesto dell'Arco Alpino, in Svizzera ed in Austria. Essa favorisce la riduzione delle emissioni e il decongestionamento delle reti stradali. L'autostrada ferroviaria permette il caricamento di veicoli stradali completi, con o senza conducente a bordo, su vagoni ferroviari. Nel caso in cui il conducente volesse accompagnare il carico, avrebbe la possibilità di effettuare il viaggio a bordo di un vagone passeggeri posto in testa al treno merci e predisposto ad ospitare gli autisti. Affinché l'autostrada ferroviaria possa esercitare la propria funzione necessita delle seguenti caratteristiche:
  - Presenza di un terminal ferroviario attrezzato, dove possono essere svolte le operazioni di carico e scarico.
  - Esistenza di accessi ai binari di tipo stradale.
  - Domanda di trasporto rilevante in modo tale da coprire i costi di funzionamento e garantire una certa regolarità al servizio, minore è il numero di variazioni nell'organizzazione delle navette e maggiore è l'efficienza.

- Garanzia di una dotazione ferroviaria adeguata.

Questa tipologia di servizio è effettuata attraverso l'impiego di carri:

- **Ultrabassi Saadkms**, trattasi di una tipologia di carro dotato di due carrelli a quattro assi ciascuno ed è adatto al trasporto di autotreni ed autoarticolati. La lunghezza di carico utile è pari a 18 metri per i carri di testa e di 18.80 metri per i carri intermedi. La velocità massima raggiungibile è pari a 100 km/h, valore non elevato a causa della presenza di ruotini dal diametro di 360 mm. Sia per gli autotreni che per gli autoarticolati la procedura di carico prevede che il mezzo in ingresso debba procedere sul treno fino al raggiungimento dell'ultimo carro libero, molto importante è il corretto posizionamento degli assi del veicolo stradale in corrispondenza di determinati contrassegni.

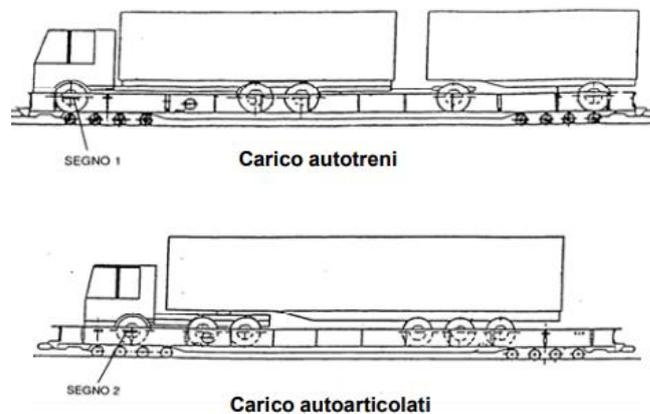


Figura 23: Carri Saadkms (fonte: Slide TET Anno Accademico 2017-2018)

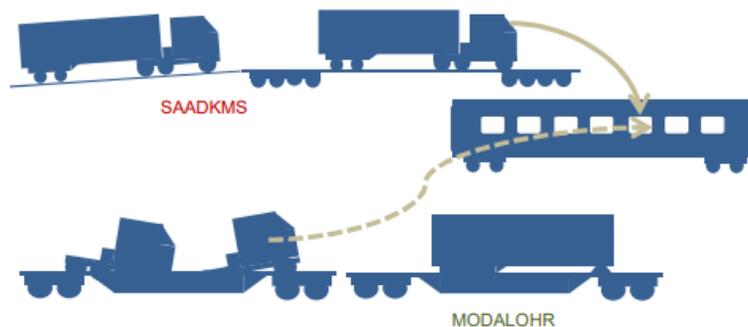


Figura 24: Trasporto Ro-Ro autostrada ferroviaria (fonte: Slide TET Anno Accademico 2017-2018)

- **Modalohr**, è una tipologia di carro che presenta ruote di diametro standard, quindi come prima conseguenza si hanno velocità più elevate rispetto ai carri Saadkms. Il carro monta una vasca di carico, delle testate collegate da un tirante e carelli unificati. Un grande pregio del sistema Modalohr è rappresentato dalla possibilità di far accedere i veicoli in maniera indipendente per ogni carro, infatti, più carri possono essere caricati in contemporanea. Le operazioni di carico possono essere svolte sia dal trattore stradale proprio del veicolo che si vuole caricare, il quale poi viene posizionato sul carro adiacente o in caso di trasporto non accompagnato da trattori propri del terminal. La tecnica Modalohr tuttavia presenta lo svantaggio di richiedere un binario dedicato e singolo, questo comporta una minore flessibilità rispetto ad un binario sul quale si effettuano operazioni di carico/scarico di carri Saadkms.

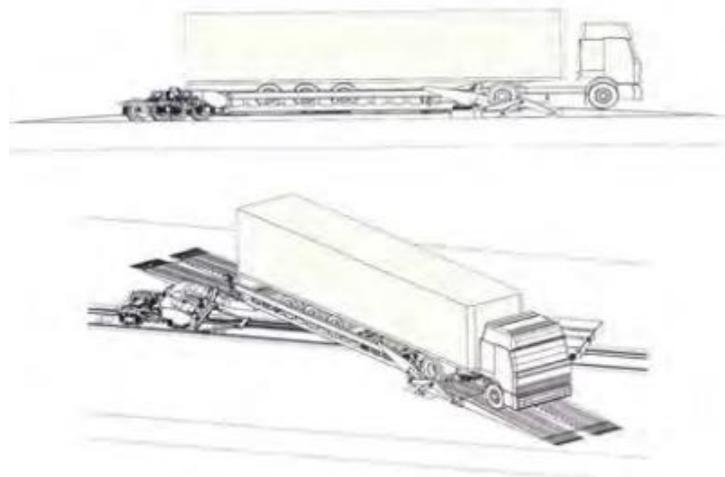


Figura 25: Carri Modalohr (fonte: Slide TET Anno Accademico 2017-2018)

**Mezzi di movimentazione**, nei terminal che esercitano trasporto combinato strada-rotaia è possibile distinguere le seguenti categorie di mezzi di movimentazione:

- **Gru a portale**, trattasi di mezzi di grosse dimensioni che possono muoversi attraverso l'utilizzo di ruote gommate o ricorrendo ad un sistema su rotaia. Le gru a portale presentano il pregio di avere grande luce ed elevata stabilità. E' la soluzione tipica adottata nei terminal gateway, infatti permettono in pochi minuti, generalmente un paio, di eseguire il carico/scarico delle UTI. Il portale effettua movimenti in direzione parallela ai binari ferroviari, mentre il sistema di presa dell'UTI può muoversi in verticale e in direzione ortogonale ai binari. La tecnica di movimentazione utilizzata è Lo-Lo, ovvero Lift on-Lift off, quindi le UTI vengono sollevate e spostate dai mezzi, per mezzo di gru.



Figura 26: Gru a portale, terminal gateway Busto Arsizio-Gallarate (fonte: Sopralluogo 07/02/20)

- **Gru semoventi frontali con spreader**, si tratta di gru con braccio fisso, tendenzialmente telescopico, dotato di spreader. Presentano la peculiarità di poter trasportare il container in maniera parallela all'asse del mezzo da caricare o scaricare, inoltre l'ingombro è contenuto. L'aggancio dell'UTI può avvenire mediante twist-block o pinze. I terminal che adottano esclusivamente questa categoria di mezzi riescono a raggiungere capacità di movimentazione massime annue non superiori ai 200.000-300.000 TEU. Anche in questo caso si utilizza una tecnica di movimentazione Lo-Lo.

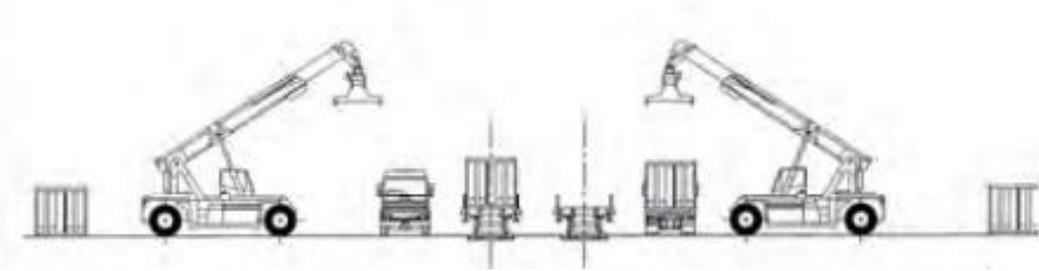


Figura 27: Esempio di operazione di carico/scarico con gru semovente frontale (fonte: Slide TET Anno Accademico 2017-2018)

- **Carrelli elevatori frontali (front loader)**, vengono utilizzati per la movimentazione dei container, sia vuoti che pieni. Nel caso di container pieni sono utilizzate attrezzature denominate LCH-FLT (Laden Container Handling-Front Lift Truck) che esplicano le loro funzioni mediante sistemi a forche o con spreader con presa dall'alto, generalmente trattasi di carrelli con funzione di ausilio situati nei terminal.

Quando invece si opera con container vuoti si ricorre a macchine dette ECH-FLT (Empty Container Handling-Front Lift Truck), le quali presentano tendenzialmente spreader frontale.

#### **4.5 I costi del trasporto combinato**

Il trasporto combinato, come evidenziato, nasce dall'interazione di due modalità di trasporto, in questa sede viene effettuato un confronto tra i costi del trasporto combinato strada-rotaia, ovvero la tipologia di combinato applicabile a Torino-Orbassano ed il trasporto "tuttostrada".

Il combinato può trovare difficoltà di sviluppo a causa di diverse ragioni. Esistono casi in cui si ha una scarsa accessibilità alla rete ferroviaria da parte dei mezzi di movimentazione, problema questo risolvibile effettuando un cambio di trazione all'interno del terminale, oppure ricorrendo a locomotori con doppia alimentazione. Altrimenti, al di sotto di determinate distanze il "tuttostrada" risulta particolarmente conveniente per merito di vari fattori, tra i quali ricordiamo lo sviluppo tecnologico, che ha incrementato le prestazioni dei mezzi e l'elevata concorrenzialità sulle tariffe, soprattutto

dopo l'approvazione della legge 1.3.2005 n.32 che ha abolito le "tariffe a forcina". A questo si aggiungono anche alcune peculiarità dell'autotrasporto italiano, come l'assenza di un accordo volontario che disciplini il settore.

Per la realizzazione di un servizio di trasporto combinato strada-rotaia bisogna mettere in considerazione i seguenti costi:

- Trazione stradale iniziale e relativi oneri organizzativi.
- Operazioni nel terminal di partenza.
- Trazione sulla tratta ferroviaria.
- Operazioni nel terminal di arrivo.
- Trazione stradale finale ed oneri organizzativi.
- Costo d'utilizzo delle UTI.
- Costo d'utilizzo del carro ferroviario.
- Costi organizzativi e di gestione dell'operatore ferroviario.

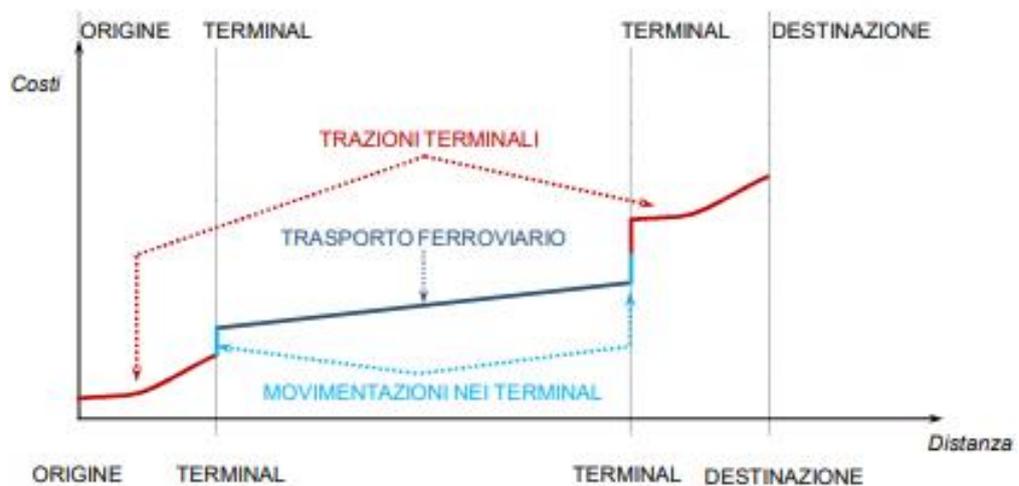


Figura 28: Costi del trasporto combinato (fonte: Slide TET Anno Accademico 2017-2018)

La vera competitività del trasporto combinato è contenuta nel tratto in cui interviene la trazione ferroviaria, infatti essa propone costi al km, ripartiti per UTI, minori rispetto al trasporto stradale di una singola UTI. Quanto affermato è verificabile in figura 29 dove vengono messi a confronto i costi del combinato strada-rotaia e del "tuttostrada".

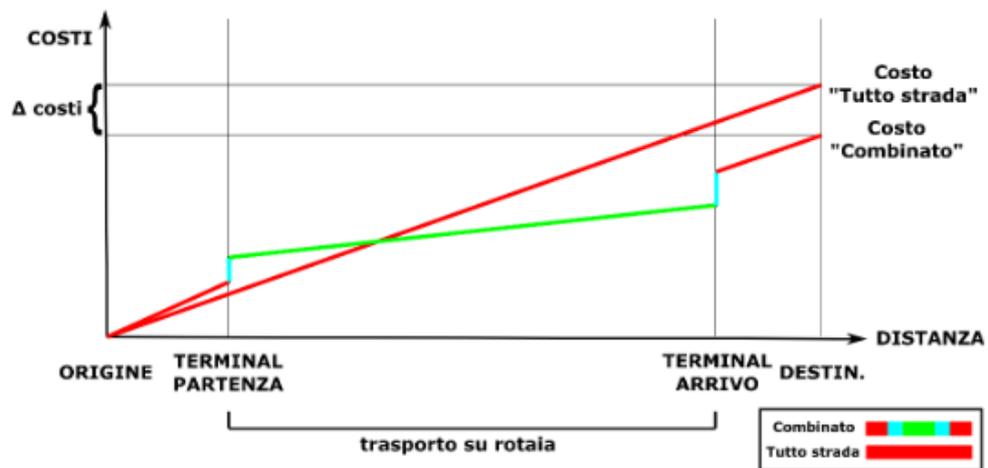


Figura 29: Confronto tra "tuttostrada" e combinato strada-rotaia (fonte: Rielaborazione slide TET Anno Accademico 2017-2018)

Nel trasporto combinato, quando un terminal di partenza o di arrivo è ubicato nei pressi di un interporto è possibile trascurare il costo della trazione iniziale o finale. Assumendo l'ipotesi semplificativa che le distanze stradali e quelle ferroviarie tra i terminali siano uguali, dall'analisi di figura 29 emerge che il trasporto combinato risulta essere conveniente sulle grandi distanze e la convenienza dello stesso aumenta proporzionalmente con l'aumentare della distanza da percorrere. Ne deriva quindi che la voce maggiormente limitativa per il successo del trasporto combinato è rappresentata dal costo delle trazioni terminali stradali. Altri problemi che possono ostacolare la convenienza del trasporto combinato sono rappresentati dai ritorni a vuoto e dalla difficoltà che si può riscontrare nel comporre un convoglio completo, soprattutto quando ci si trova a collaborare con aziende di piccole dimensioni. In tabella 9 vengono schematizzate le voci che concorrono alla formazione del prezzo del trasporto combinato e la relativa incidenza percentuale.

VOCI DI FORMAZIONE DEL PREZZO	INCIDENZA PERCENTUALE
TRAZIONI TERMINALI STRADALI	17-62%
TRAZIONE FERROVIARIA	21-71%
ONERE PER L'UTILIZZO DELLE UTI	2-5%
NOLO CARRI	4-15%
OPERAZIONI DI CARICO E SCARICO	4-8%

Tabella 9: Voci di formazione del prezzo del trasporto combinato

## 4.6 Vantaggi del trasporto combinato

### 4.6.1 Riduzione delle emissioni locali

In termini assoluti, esaminando il consumo di energia determinato dal settore dei trasporti, il trasporto ferroviario ha un impatto estremamente più basso rispetto al trasporto stradale, questo avviene essenzialmente per due ragioni:

- Ricopre una quota modale minore.
- E' molto più efficiente rispetto al trasporto su gomma.

A livello globale, secondo l'International Energy Agency, nel 2016 le emissioni di CO<sub>2</sub> dovute alla combustione di carburante hanno raggiunto i 7.9 miliardi di tonnellate.

Nel contesto europeo si sta assistendo ad una progressiva riduzione delle emissioni climalteranti totali, tuttavia l'unico settore in controtendenza è rappresentato dai trasporti che negli ultimi 30 anni hanno avuto un trend complessivamente crescente, come si nota in figura 30:

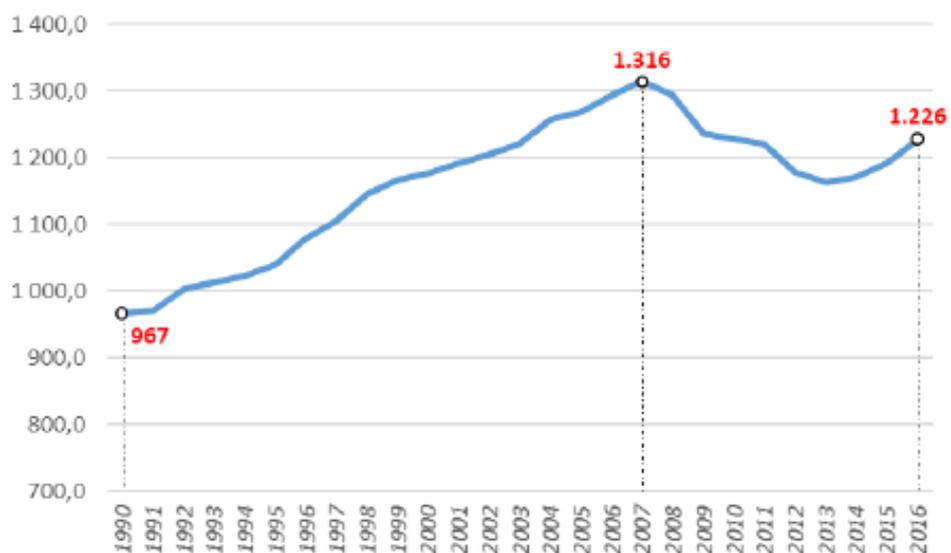


Figura 30: Emissioni climalteranti dovute al sistema dei trasporti in Europa (fonte: Quaderno 15 Osservatorio Torino Lione)

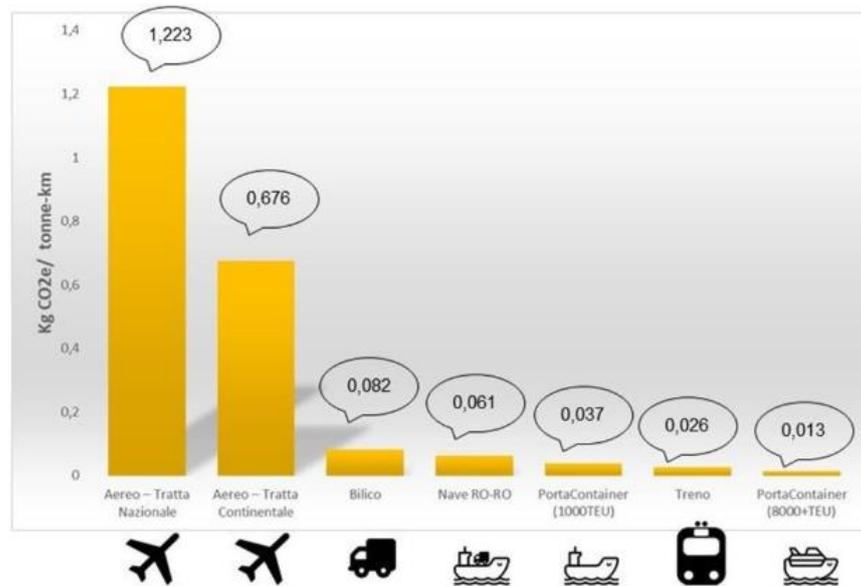


Figura 31: Confronto tra emissioni prodotte dalle varie modalità di trasporto (fonte: ECR ITALY)

In questo scenario la ferrovia ricopre solo lo 0.6% delle emissioni derivanti dal settore dei trasporti e se si volessero includere anche le emissioni prodotte da locomotori diesel si salirebbe fino all'1.5%, dunque si parla di valori molto bassi. Come si desume dai valori riportati in figura 31 è evidente il vantaggio, in termini di emissioni, fornito dal trasporto ferroviario, sia esso passeggeri o merci. Al contempo in Europa, il trasporto stradale nel 2016 si è rivelato causa della produzione del 39% delle emissioni di NO<sub>x</sub> e del 12% di quelle di PM<sub>2.5</sub>.

Partendo da questi presupposti è palese il beneficio fornito dal combinato strada-rotaia. Esso sottraendo quota modale e distanze percorse al "tuttostrada", consente, tramite l'utilizzo di un mezzo di trasporto meno impattante di ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e PM<sub>2.5</sub>. [12]

#### 4.6.2 Riduzione incidentalità

Il tema dell'incidentalità è di rilevante importanza nelle dinamiche socioeconomiche italiane ed europee, tanto da diventare a causa dei costi esterni prodotti una considerevole voce di spesa.

A livello normativo, l'Unione Europea, nel 2010, si è posta l'obiettivo di ridurre del 50%, nel decennio compreso tra il 2010 ed il 2020, il numero di

vittime derivanti da incidenti stradali. Per favorire il raggiungimento di questo target nel 2018 all'interno del "Terzo pacchetto per la mobilità" sono stati inseriti nuovi standard di sicurezza per i veicoli e nuove norme per la gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali. Come è riscontrabile in figura 32, il numero di morti dovute ad incidenti stradali, a livello europeo, ha registrato una diminuzione generale, con una variazione percentuale media che si attesta sul -20%, valore questo purtroppo lontano dall'obiettivo -50%. Puntando la lente d'ingrandimento sull'Italia si è passati dalle 4.114 morti derivanti da 212.997 incidenti stradali del 2010 ai 3.378 decessi riconducibili a 174.933 incidenti stradali del 2017.

Si nota dunque una diminuzione sia del numero delle vittime che di quello degli incidenti, tuttavia l'indice di mortalità, espresso come  $((n. \text{ morti} / n. \text{ incidenti}) \times 100)$ , si è mantenuto costante sul valore di 1.93.

Parallelamente, i dati europei sull'incidentalità ferroviaria suggeriscono che il trasporto ferroviario ha un'elevata sicurezza, soprattutto se si effettua un confronto con il trasporto stradale. Mediamente nell'area europea si parla di circa un incidente significativo su un milione di treni-km. Le nazioni più sicure sono quelle dell'Europa occidentale.

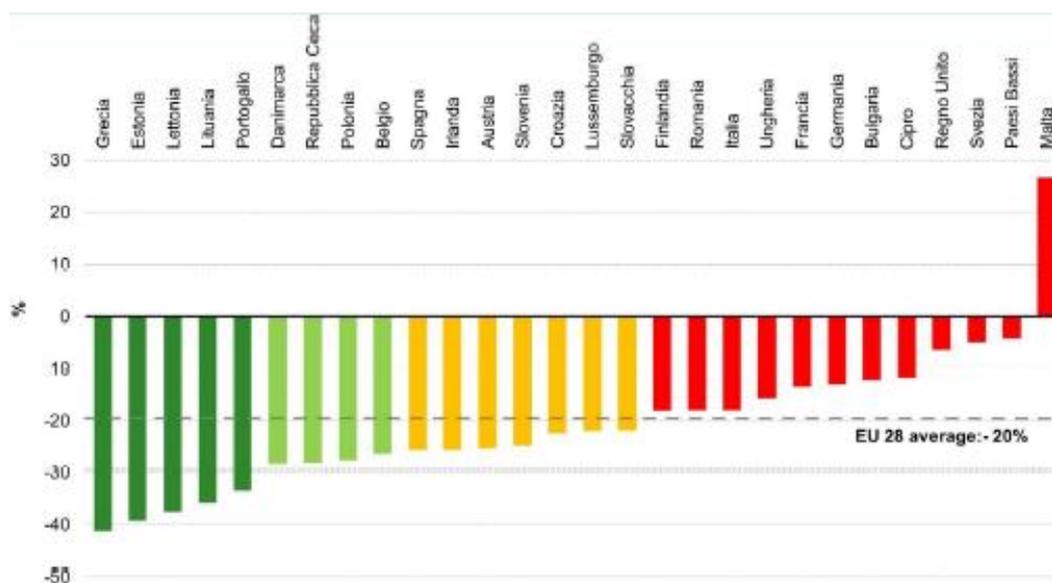


Figura 32: Variazione percentuale numero di morti in incidenti stradali tra il 2010 ed il 2017 in UE-28 (fonte: Quaderno 15 Osservatorio Torino-Lione)

Dall'analisi di figura 33 emerge che l'incidentalità ferroviaria italiana è tra le più basse in Europa, attestandosi sugli 0.32 incidenti significativi su un milione di treni-km.

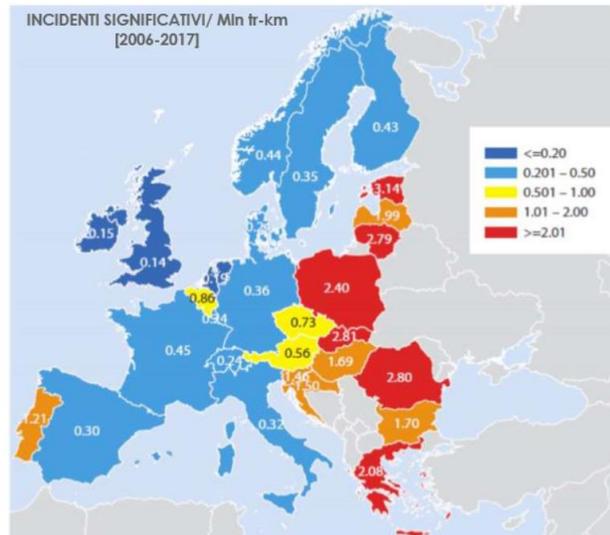


Figura 33: Incidentalità ferroviaria (fonte: Quaderno 15 Osservatorio Torino-Lione)

In Italia nel 2018 si è avuto un incidente significativo su ogni 3.315.000 km percorsi da treni, volendo passare alle vittime, ovvero l'insieme di morti e feriti, sempre per il 2018 l'Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie (ANSF) fornisce i seguenti valori:

- 37 vittime (3 morti e 34 feriti) riconducibili a deragliamenti.
- 25 vittime (4 morti e 21 feriti) riconducibili ad incidenti ai passaggi a livello.
- 96 vittime (68 morti e 28 feriti) riconducibili ad incidenti che coinvolgono veicoli ferroviari in movimento.

Esaminando nel dettaglio il trasporto merci stradale, i dati ISTAT per il 2017, rappresentati in tabella 10, parlano di 546 morti. In particolare 66 conducenti di mezzi pesanti e 480 persone estranee al trasporto merci.

CATEGORIE DEI VEICOLI	INCIDENTI	MORTI	FERITI
TOTALE 2017	174 933	3 348	246 750
TOTALE AUTOCARRI	16 756	546	22 097
PERCENTUALE SUL TOTALE	9,60%	16,20%	9%

Tabella 10: Dati ISTAT 2017 (fonte: Quaderno 15 Osservatorio Torino-Lione)

I dati forniti dal Conto nazionale trasporti, estratti facendo una media per il periodo 2004-2016, suggeriscono che per il trasporto merci, mediamente si sono verificati 128 incidenti gravi ai treni all'anno (manovra, passaggi a livello e perdita del materiale rotabile), con numero delle morti pari a 74 unità, ripartite nel seguente modo: 8 tra i passeggeri, 4 tra il personale e 62 tra persone esterne, in quest'ultima categoria rientrano anche i suicidi, casistica purtroppo molto frequente.

Dall'analisi di questi numeri risulta evidente che il trasporto ferroviario risulta essere molto più sicuro del trasporto stradale. Se si volesse fare l'ipotesi estrema che la totalità del traffico merci stradale venga dirottato su ferrovia la mortalità muterebbe come descritto in tabella 11.

IMPATTO	RIDUZIONE SU STRADA	INCREMENTO SU FERROVIA	SALDO NETTO
MORTI	546	42	504
FERITI GRAVI	7 366	21	7 345
FERITI LIEVI	14 731	//	14 731
INCIDENTI	16 352	78	16 274

Tabella 11: Ipotesi di riduzione dei danni spostando integralmente sulle lunghe percorrenze le merci dalla strada alla ferrovia (fonte: Quaderno 15 Osservatorio Torino-Lione)

In conclusione il raggiungimento degli obiettivi europei in termini di riduzione dell'incidentali non può prescindere dall'attuare una forte politica di shift modale a favore del trasporto combinato. [12]

#### **4.6.3 Riduzione occupazione suolo**

In un periodo storico come quello attuale, nel quale si cerca di ridurre al minimo l'impatto ambientale e l'occupazione di suolo non ancora edificato, non può essere trascurato il contributo che il trasporto ferroviario è capace di fornire. Ad oggi in Europa il sistema ferroviario assorbe solo il 4% del consumo totale di suolo attribuibile al settore dei trasporti, d'altro canto il trasporto stradale ha un peso diametralmente opposto esauendo una quota superiore al 90% del totale.

Per spiegare la differenza tra gli impatti, si riporta un paragone efficace, ovvero quello tra un'autostrada a tre corsie per direzione di marcia e una

linea AV/AC. Trattasi di due infrastrutture con capacità simile, infatti se volessimo ragionare in termini di trasporto passeggeri la prima potrebbe ospitare mediamente 15.300 passeggeri l'ora, mentre la seconda 15.984.

Dal confronto emerge che l'autostrada occupa 75 metri di suolo in larghezza mentre la linea AV/AC soli 25, quindi il trasporto ferroviario permette di ottenere un'occupazione del suolo pari ad un terzo di quella riconducibile al caso stradale. Ragionando in termini di ettari occupati per chilometro di infrastruttura, l'autostrada si attesta sui 3.2 ettari per chilometro, mentre la linea AV/AC si avvicina ad un ettaro per chilometro.

In questo contesto, una promozione forte del combinato può ridurre sensibilmente l'occupazione del suolo derivante dalla creazione di nuove infrastrutture [12].

#### **4.7 ETR merci**

Il trasporto merci ferroviario nel tempo ha visto calare la sua quota di mercato, questo a causa di varie ragioni, tra le quali bisogna ricordare:

- La progressiva riduzione della necessità di trasporto della merce pesante.
- Lo sviluppo della rete autostradale a cavallo tra gli anni cinquanta ed ottanta del secolo scorso.
- L'invecchiamento del materiale rotabile.
- L'impossibilità di poter trasportare merci a temperatura controllata.
- L'impossibilità di poter eseguire controlli dei parametri fisico-chimici della merce.
- L'impossibilità di diagnosticare la posizione ed i parametri prestazionali del singolo carro.

Molte delle difficoltà elencate 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. 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 di 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. [13]

## 5. Offerta attuale: rete esistente

### 5.1 Torino-Modane

#### 5.1.1 Inquadramento storico-descrittivo della Torino-Modane

La realizzazione della “Linea Storica” è avvenuta per step successivi nel corso del XIX secolo. Il primo tratto ad essere inaugurato è stato quello a binario unico tra Torino e Susa nel 1854, seguito dall’apertura del tronco tra Bussoleno e Bardonecchia, anch’esso a semplice binario, eccezion fatta per il traforo del Frejus, il quale venne munito di una canna predisposta ad ospitare un binario doppio. Venne scelto come punto di attraversamento il Colle del Frejus poiché esso offre una minore distanza in linea d’aria tra le località di Bardonecchia e Modane, oltre alla possibilità di sfruttare un dislivello non troppo marcato, in altri termini livellette contenute. Il traforo inizialmente presentava una lunghezza pari a 12.847 m, tuttavia in seguito a continui dissesti avvenuti in prossimità della calotta d’ingresso del versante francese si eseguirono lavori di allungamento, portando la lunghezza complessiva a 13.363 m.

La tratta ferroviaria da Modane a Bussoleno viene inaugurata nel 1871 con lunghezza di circa 60 km, anche in questo caso è stato prediletto lo schema a binario unico, tranne che tra Salbertrand e Modane. L’introduzione del doppio binario avviene nel corso del XX secolo e si protrae fino al 1984 quando l’adeguamento tra Bussoleno e Salbertrand viene completato [14].

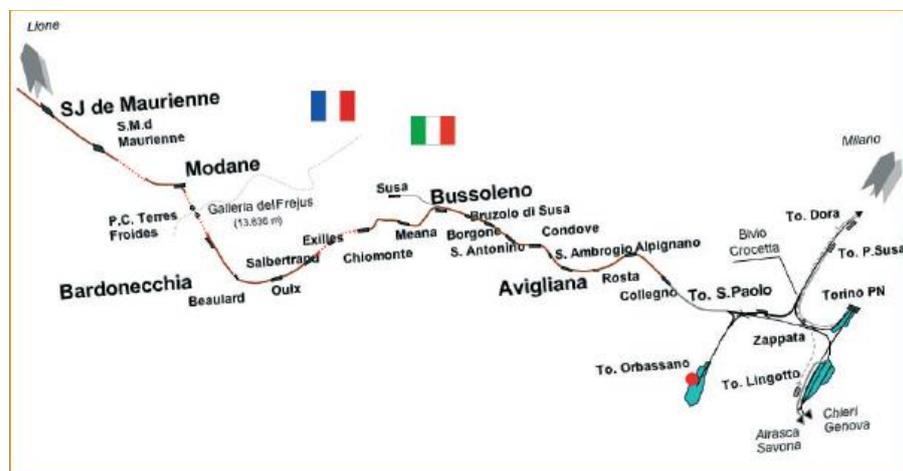


Figura 34: Corografia della linea tra S. Jean de Maurienne e Torino (Fonte: RFI)

La Linea Storica presenta una serie di record negativi, infatti ospita le livellette più elevate tra tutte le tratte ferroviarie alpine, raggiungendo anche il 30 per mille, non bisogna dimenticare l'elevata tortuosità del tracciato che limita la lunghezza dei convogli. Basti pensare che nella tratta tra Bussoleno e Salbertrand la massima massa rimorchiabile è pari ad 870 tonnellate. I lavori di adeguamento eseguiti tra il 2003 ed il 2011 non hanno permesso di risolvere i problemi strutturali della tratta, anzi combinandosi alla crisi economica hanno accelerato il declino dei traffici trasportati sull'infrastruttura. Le maggiori criticità si riscontrano sul piano della sicurezza, infatti ad oggi alcuni standard europei minimi non vengono rispettati, come accade ad esempio nel tunnel del Frejus, dove la distanza interbinario si limita a soli 341 cm, a fronte dei 355 cm previsti. Non di secondaria importanza è l'assenza di uscite di sicurezza, di percorsi di esodo o di impianti di ventilazione forzata per l'espulsione dei fumi [15].

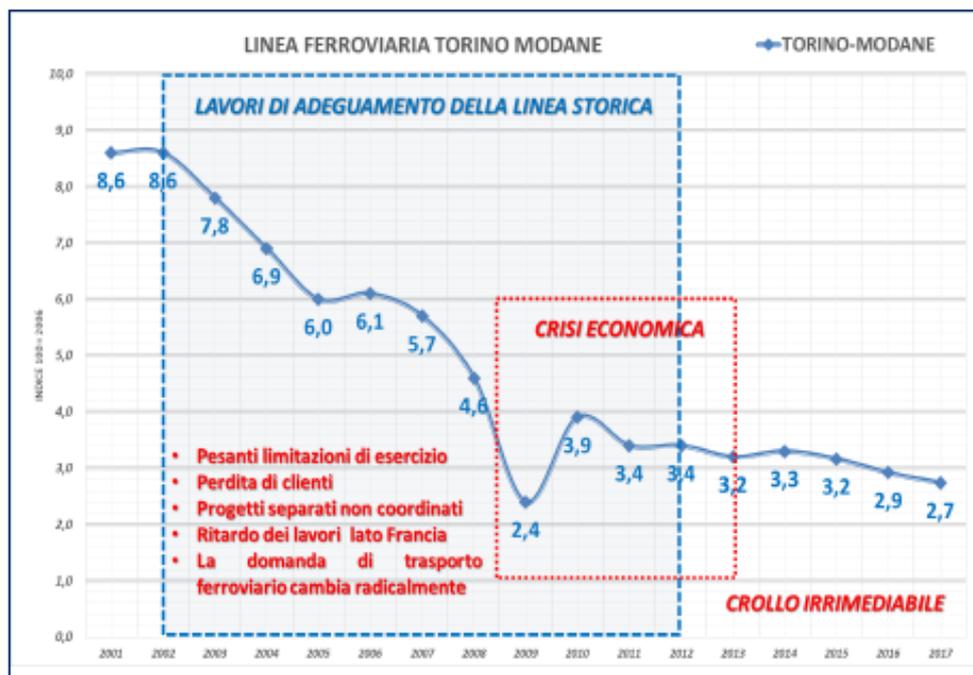


Figura 35: Effetti della crisi economica e dei lavori di adeguamento sulla Linea Storica (fonte: Quaderno 11 Osservatorio Torino-Lione)

In figura 36 sono rappresentati i tempi di percorrenza attuali derivanti dall'utilizzo della Linea Storica.



Figura 36: Tempi di percorrenza derivanti dall'impiego della Linea Storica (fonte: Quaderno 11 Osservatorio Torino-Lione)

Per evidenziare l'influenza che l'introduzione di un'infrastruttura competitiva può avere sulla scelta modale e sulla ripartizione dei traffici all'interno dell'Arco Alpino viene riportato come esempio l'impatto che la galleria di base del San Gottardo (GbG) ha avuto dalla sua apertura. Il GbG è stato inaugurato l'11 dicembre del 2016, con i suoi 57 km è il tunnel ferroviario più lungo al mondo e costituisce il fulcro della Nuova ferrovia transalpina (NFTA). Nel 2019 è stato toccato il traguardo dei 100.000 convogli transitati e mediamente in una giornata lavorativa ospita tra i 130 ed i 160 treni, due terzi dei quali sono treni merci ed un terzo treni passeggeri. Nel 2018 il trasporto merci ferroviario si è attestato sul 59%, con un massimo di 120 treni merci nei giorni di punta. Inoltre per la nuova linea considerando una sola locomotiva a 4 assi sono previsti come carichi ferroviari massimi valori di 1.700 tonnellate in direzione nord-sud e 1.400 tonnellate in direzione sud-nord. [sito 15]

### 5.1.2 Potenzialità e capacità della Linea Storica

In letteratura la potenzialità di circolazione di una linea viene intesa come il numero massimo di treni viaggiatori e merci, che può viaggiare sulla linea in un determinato intervallo di tempo e con determinate condizioni di esercizio.

Tendenzialmente si sceglie come unità temporale il giorno, il mese o l'anno, in funzione delle caratteristiche della linea stessa. Si è soliti distinguere la potenzialità teorica da quella pratica, in particolare la seconda tiene conto anche di parametri della circolazione non programmabili a priori. La potenzialità dipende dalla velocità di marcia e dal sistema di distanziamento dei treni, il quale deve essere tale da consentire l'arresto in sicurezza. In maniera del tutto generale si può asserire che a basse velocità all'aumentare della velocità aumenta anche la potenzialità, mentre a velocità elevate, se queste continuano ad incrementare, la potenzialità assume trend inverso.

Parallelamente la capacità di trasporto viene espressa in termini di tonnellate trasportabili sulla linea nell'unità di tempo.

La capacità è influenzata da diversi fattori che possono intervenire in maniera più o meno marcata, si ricordano principalmente:

- La configurazione plano-altimetrica della linea, incide sulla velocità raggiungibile dal materiale rotabile e quindi sul tempo di percorrenza della tratta.
- Il numero di binari, influenza non soltanto la capacità in senso proprio, ma anche la sicurezza della linea.
- La presenza di elettrificazione, la quale incide sulle prestazioni dei convogli ferroviari e non in minore importanza sull'impatto ambientale degli stessi.
- Le caratteristiche del materiale rotabile.
- Il sistema di distanziamento, il regime di circolazione e le lunghezze delle sezioni di blocco.
- Il sistema di controllo, in particolare la presenza di SCMT (Sistema di Controllo Marcia Treno) ed SSC (Sistema Supporto Condotta).
- Distanza tra stazioni di incrocio e capacità di ricovero delle stazioni.

Le analisi volte ad esaminare la capacità della Linea Storica hanno previsto una suddivisione della parte italiana in tre sezioni con caratteristiche sufficientemente omogenee, allo scopo di consentire una trattazione più precisa possibile:

- Sezione di "alta valle", da Modane a Bussoleno;
- Sezione di "bassa valle", da Bussoleno ad Avigliana;

- Sezione “metropolitana” da Avigliana al nodo di Torino (bivio Pronda).

Per gabarit si intende la sagoma limite, in termini di dimensioni di massima semi-larghezza dall’asse centrale del binario e massima altezza dal piano del ferro. Per il calcolo della potenzialità l’Osservatorio Torino-Lione nei suoi primi studi ha fatto ricorso all’utilizzo del modello CAPRES, messo a punto dal Politecnico di Losanna. E’ stata considerata la linea storica potenziata al 2009, ovvero con l’introduzione del blocco automatico banalizzato (BAB) tra Torino e Bussoleno e l’ampliamento di gabarit del traforo del Frejus fino ad un valore pari a GB1 avvenuti.

Inserendo nel modello per un giorno lavorativo medio un nastro di funzionamento di 22 ore/giorno ed applicando un coefficiente riduttivo pari a 0.9, sono stati ricavati i seguenti valori per la sezione di alta valle:

- 16 treni a lunga percorrenza;
- 30 treni regionali;
- 180 treni merci.

Si parla dunque di una potenzialità pari a 226 treni/giorno, mentre la potenzialità teorica si attesta sui 250 treni/giorno. Assumendo un tonnellaggio medio per treno pari a 510t, valore pari alla media del tonnellaggio del traffico merci sull’intero anno, si ottengono i valori di capacità riportati in figura 37: [14]

Tratta Modane - Bussoleno <sup>TM/TS</sup>			
N° treni merci/giorno	Tonnellate giorno	Tonnellate / anno su 260 giorni di punta equivalente / anno	Tonnellate/anno su 350 giorni di punta anno
150	76.500	19.890.000	26.775.000
180	91.800	23.868.000	32.130.000

Figura 37: Capacità sezione di alta valle (fonte: Quaderno 1 Osservatorio Torino-Lione)

Portando il nastro di funzionamento a 21 ore/giorno la potenzialità scende a 208 treni/giorno e con naturale conseguenza la diminuzione della capacità. Le analisi che prevedono l’utilizzo a pieno regime della linea storica non possono esimersi dal considerare alcuni aspetti di fondamentale importanza:

- L'accettabilità o meno in termini di inquinamento acustico di un incremento del traffico merci nei centri abitati posti ad una distanza inferiore ai 250 m dal tracciato.
- La maggiore sicurezza del trasporto ferroviario rispetto a quello stradale;
- Le criticità che potrebbero derivare dal trasporto di merci pericolose sulla Linea Storica.
- L'asimmetria di traffico che riguarda i flussi da e per la Francia.
- L'asimmetria di peso unitario del materiale trasportato da e per la Francia, infatti tendenzialmente dall'Italia partono principalmente prodotti finiti, mentre dalla Francia arrivano materie prime e semilavorati con peso unitario maggiore.

Entrambe le asimmetrie portano a considerare la possibilità che vi siano convogli a vuoto, tutto questo imprime un'impronta asimmetrica alla stima del numero di locomotori usati sulla linea [14].

In seguito ai lavori di adeguamento completati nel 2011 e per evidenti ragioni di sicurezza, la potenzialità complessiva della linea è stata portata a 94 treni al giorno, 60 di questi destinati al trasporto merci. Nel 2015 la potenzialità utilizzata dai treni merci viene quantificata in 29 convogli, ai quali vanno aggiunte 3 locomotive isolate. Al 21 novembre 2016 la potenzialità a saturazione del trasporto merci si attesta su 38 treni merci al giorno, valore successivamente confermato nel 2018 [16].

### **5.1.3 Cenni sull'Autostrada Ferroviaria Alpina (AFA)**

Il progetto di Autostrada Ferroviaria Alpina sulla Linea Storica è nato per sperimentare il Modalohr, tipologia di trasporto combinato strada-rotaia caratterizzata da convogli con carri ribassati e finalizzati al trasporto di camion, articolati e semirimorchi, con altezza massima pari a 3.70 m. Questa tipologia di carro è stata adottata per superare le difficoltà imposte dal gabarit della Linea Storica. Il servizio è entrato in vigore nel 2003, quando diventano operativi i terminali di Orbassano e di Aiton, distanti circa 175 km,

tratto tuttavia troppo breve per garantire un ritorno economico della linea, infatti essa è sovvenzionata da incentivi statali. Sulle navette AFA si trasportano per lo più semirimorchi non accompagnati, ma trovano spazio anche merci pericolose, da qui particolare importanza riveste il ruolo della sicurezza, che la Linea Storica fatica a garantire.

La Linea Storica, infatti, presenta le seguenti limitazioni che ne ostacolano l'utilizzo a pieno regime:

- Numerose curve a raggio ridotto ed elevate livellette che impediscono la fruibilità a determinati flussi di traffico;
- L'elevata quota raggiunta dal tracciato (pari a 1295 m.s.l.m) impone condizioni climatiche particolarmente sfavorevoli.

La Linea Storica è stata recentemente classificata secondo i valori riportati in tabella 1 ed i limiti infrastrutturali sopra elencati vincolano la massa rimorchiata massima in trazione singola a 650 tonnellate all'interno del traforo del Frejus [16].

		Codifica linea			
		Cassa mobile		Semirimorchi	
		larghezza ≤ 2500mm	2500 ≤ l ≤ 2600	larghezza ≤ 2500mm	2500 ≤ l ≤ 2600
VENTIMIGLIA	ITALIA	C22	C341	P22	P341
	FRANCIA	C22	C341	P22	P339
MODANE	ITALIA	C30	C341	P30	P341
	FRANCIA	C45	C364	P45	P359
SEMPIONE	ITA (via Busto)	C50	C380	P50	P380
	ITA (via Novara)	C80	C410	P80	P410
	SVIZZERA	C80	C405	P80	P405
GOTTARDO	ITA (via Chiasso)	C60	C384	P60	P384
	ITA (via Novara)	C50	C380	P50	P380
	SVIZZERA	C60	C384	P60	P384
BRENNERO e TARVISIO	ITALIA	C80	C410	P80	P410
	AUSTRIA	C80	C410	P80	P410

Tabella 12: Limiti di gabarit dei trafori nazionali (fonte: Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti)

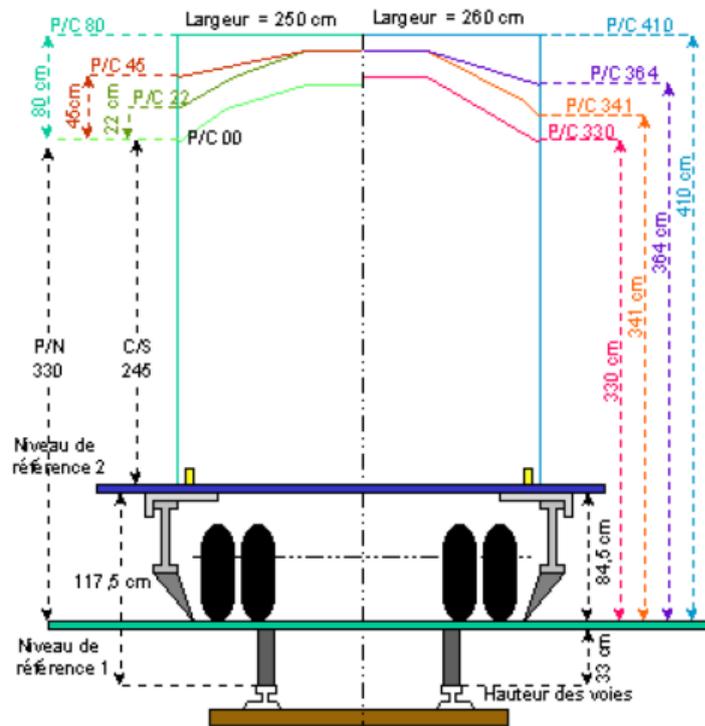


Figura 38: Valori limite di gabarit (fonte: Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti)



Figura 39: Binario operativo Modalohr, terminale Orbassano (fonte: Sopralluogo del 20-11-2019)

La tecnica Modalohr utilizza carri doppi composti da due telai montati su carrelli, tali telai possono ruotare lateralmente per favorire con schema a spina di pesce il carico e lo scarico dei semirimorchi. Si tratta di una tipologia di carro molto affidabile, tuttavia con costi di manutenzione elevati. Nel 2005 dopo due anni di sperimentazione, al primo anno di utilizzo, l'AFA ha trasportato circa 18000 veicoli con un tasso di occupazione del 65% e con un bilancio finanziario moderato [14].

Carico del telaio	
1 trattore	0,5 telai
1 semi-rimorchio isolato	1 telaio
1PL completo	1,5 telai

Lunghezza	
Lunghezza totale di una composizione	650 metri in situazione futura
Lunghezza utile una	600 metri in situazione futura (con 2 locomotive e carrozza di accompagnamento)
Lunghezza di un carro di 2 telai	35 m
Numero di telai: $600 / 35 * 2$	34 telai
Numero carri nel 2009	17*
* Numero carri nel 2006 = 11 ( Comunicazione M. Noel de Saint- Pulgent all'O.T. del 28/02/07)	

Figura 40: Caratteristiche tecniche dei carri Modalohr (fonte: Quaderno 1 Osservatorio Torino-Lione)

## 5.2 L'attuale piattaforma logistica di Torino-Orbassano

La piattaforma logistica di Torino-Orbassano è situata ad ovest del capoluogo piemontese, in prossimità della tangenziale sud di Torino, alla quale è collegata direttamente da un apposito svincolo dedicato. Tramite il sistema tangenziale torinese si ha un collegamento rapido alla rete autostradale nazionale, in particolar modo alle direttrici A4 Torino-Milano, A21 Torino-Piacenza, A26 Torino-Savona e A32 Torino-Bardonecchia. La piattaforma si propone come mezzo di promozione del trasporto combinato strada-rotaia in ottica di scambi commerciali sia nazionali che internazionali, soprattutto con la vicina Francia.

Lo scalo ferroviario concepito negli anni 70', come stazione di smistamento per la movimentazione di carri del trasporto "diffuso" viene attivato nel 1981, ma la sella di lancio si rivela da subito un meccanismo obsoleto: per il trasporto diffuso, infatti, già all'epoca si iniziavano a prediligere altre

soluzioni. Per questo motivo la sella di lancio oggi è dismessa ed il fascio binari ad essa adiacente è utilizzato come fascio di sosta.

Per rispondere a questi cambiamenti sono stati creati due terminali intermodali: il primo ad impronta tradizionale, gestito fundamentalmente da Terminali Italia e in parte da altre imprese, mentre il secondo rappresentato dall'Autostrada Ferroviaria Alpina (AFA).

La piattaforma in prima istanza è suddivisibile in 4 macroaree:

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

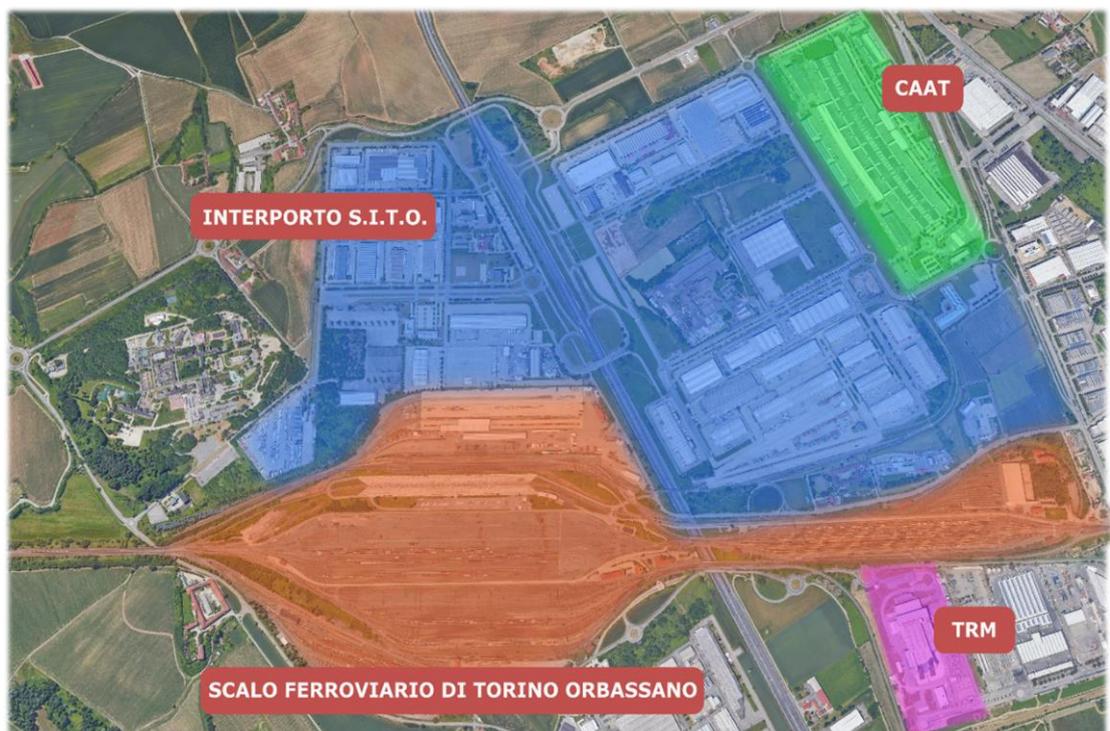


Figura 41: Macroaree della piattaforma logistica di Torino-Orbassano (fonte: SITO)

Una rappresentazione più precisa della piattaforma è stata di possibile realizzazione in seguito alla consultazione del sito web “intermodale24-rail” ed ai successivi approfondimenti svolti sul campo sotto forma di sopralluogo o di intervista alle società che occupano le aree oggetto di studio, in modo tale da avere una raccolta dati più ampia possibile. Il risultato del lavoro di

ricerca svolto ha portato al censimento delle entità descritte nei sottoparagrafi

### **5.2.1 Lo scalo ferroviario**

**Scalo merci RFI**, Terminali Italia S.r.l è una società del Gruppo Ferrovie dello Stato costituita nel 2008 per la gestione integrata dei servizi terminalistici. Il terminal dispone di 5 binari operativi per le operazioni di carico/scarico delle UTI di lunghezza pari a 400m ed utilizza 6 gru semoventi frontali.

Nell'area sono presenti anche altri 2 binari dedicati al trasporto diffuso, in particolare di materiale siderurgico e merci pallettizzate, gestiti da DB Schenker, con l'ausilio di 4 carrelli con forche a sbalzo. Si ha inoltre un'area coperta con il compito ospitare le merci sensibili alle intemperie [sito 16].

**Autostrada Ferroviaria Alpina (AFA)**, è un servizio infrastrutturale per il trasporto combinato strada rotaia tra Italia e Francia, nato nel 2001 in seguito ad una serie di incontri bilaterali dei governi italiano e francese, con il fine di ridurre il traffico stradale sul valico alpino del Frejus.

Il terminal è gestito per la parte ferroviaria da Mercitalia Logistics (Gruppo Ferrovie dello Stato), mentre da Sito Logistica S.c.p.a per l'accesso ed il carico/scarico dei veicoli stradali [sito 16].

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 stradali secondo i principi della tecnica Roll on-Roll off.

Dopo aver caricato i semirimorchi, le vasche ritornano alla posizione originaria. I mezzi che giungono nel terminale sono soggetti a verifiche di peso e gabarit attraverso l'utilizzo di particolari attrezzature visibili nelle figure 42 e 43. In un secondo momento i mezzi che superano le verifiche vengono posizionati in ampi piazzali di sosta, in attesa dell'inizio delle operazioni di carico.

Il terminale AFA viene raggiunto direttamente dai treni con locomotore di linea, questo poiché il binario di servizio è elettrificato con catenaria,

alimentata solo nel momento in cui il treno è in fase di ingresso per ragioni di ingresso.



Figura 42: Dispositivo per la verifica della lunghezza del mezzo in ingresso (fonte: Sopralluogo del 15-01-2020)



Figura 43: Dispositivo per la verifica della massa e del gabarit del mezzo in ingresso (fonte: Sopralluogo del 15-01-2020)

Nel momento in cui il convoglio ferroviario giunge al binario operativo, il sistema Modalohr permette il perfetto centraggio dei carri attraverso un impianto a pistoni visibile in figura 44.

A centraggio perfettamente eseguito è possibile avviare il meccanismo di rotazione preliminare al carico/scarico. Le operazioni possono essere eseguite sia da remoto, che da postazioni manuali poste in prossimità del binario, visibili in figura 45.

Il vagone Modalohr presenta una struttura ribassata che consente il trasporto di semirimorchi con o senza trattore su linee ferroviarie caratterizzate da sagoma standard GB1. Il piano di carico si trova a soli 21 cm dal livello rotaia.



*Figura 44: Sistema di centraggio (fonte: Sopralluogo del 15-02-2020)*

Il sistema Modalohr inoltre presenta il vantaggio di montare ruote di diametro ordinario, 960 mm, quindi non si hanno ulteriori limiti alla velocità massima come avviene con un'altra tipologia di carro a pianale ribassato, il SAADKMS, dove i ruotini di diametro 360 mm ad elevate velocità

potrebbero incorrere in svio. La presenza di ampi piazzali di sosta e manovra dei mezzi in ingresso e la possibilità di carico e scarico di più carri in contemporanea consentono alla piattaforma Modalohr di comporre un treno in breve tempo, ovvero circa 30 minuti. Ogni giorno nella piattaforma di Orbassano vengono servite 4-5 coppie di treni che viaggiano per Aiton, ad esse dal novembre 2018 si sono aggiunte 3 coppie a settimana per Calais [sito 16].



Figura 45: Struttura di un carro Modalohr (fonte: Quaderno 10 Osservatorio Torino-Lione)

La massima capacità di carico è di 24 unità per treno, valore che equivale ad una massima capacità giornaliera, nei due sensi di marcia di 240 unità. La capacità effettiva è generalmente minore e varia in base alla tipologia di servizio richiesto dagli autotrasportatori (trasporto accompagnato o non accompagnato).

I numeri di AFA sono i seguenti [13]:

- Circa 2000 treni effettuati ogni anno.
- 175 km percorsi in 3 ore.
- Oltre 300.000 semirimorchi trasportati in 13 anni dall'apertura, di questi oltre 100.000 di merci pericolose.
- 80 milioni di Euro di costi esterni risparmiati nel triennio 2013-2015.
- 28 milioni di Euro di contributi pubblici spesi nel triennio 2013-2015.
- 7.7 milioni di Euro di ricavi da mercato nel 2016.
- 8.9 milioni di Euro di contributi da MIT e MEE nel 2016.

Tutte le testate Y33 e Y27 sono dotate di un gancio di sicurezza di colore giallo, destinato a garantire la completa chiusura delle vasche sulle testate. L'apertura del gancio è realizzata da cilindri pneumatici capaci di portare il gancio di sicurezza con aria compressa alla pressione di 6 bar. Esso è bloccato in posizione chiusa da molle di richiamo, che permettono la sicura circolazione del vagone. [17]

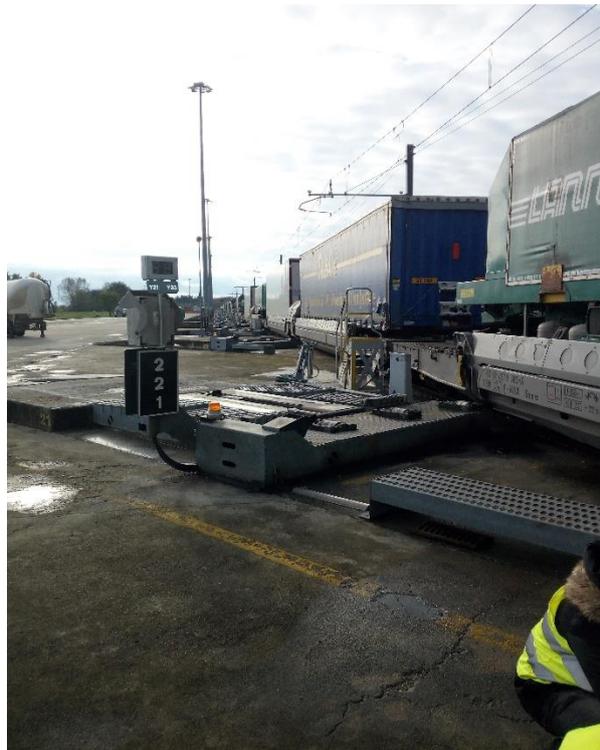


Figura 46: Postazione di manovra manuale (fonte: Sopralluogo del 20-11-2019)

**Altri fasci di binari**, lo scalo è connesso con binari di linea che conducono a Torino o a Modane; i treni vengono ricevuti nel Fascio Arrivi/Partenze situato nell'estremità settentrionale della piattaforma logistica, in prossimità dell'ingresso di Strada del Portone.

Da lì i treni possono raggiungere il Fascio Dogana, il quale ha funzione di collegamento e di fascio sosta e manovra per i treni diretti nelle aree gestite da RFI e da SITO.

Nell'estremità meridionale della piattaforma sono presenti delle aste di manovra, esse hanno la funzione di collegare il Fascio Sosta, posizionato dove in origine era collocata la sella di lancio, agli altri fasci. Il Fascio Sud

oggi è scarsamente utilizzato, fatta eccezione per un binario di circolazione che collega le aste al Fascio Arrivi/Partenze, adiacenti ad esso si trovano alcuni binari riservati a FCA. Inoltre l'azienda possiede un raccordo che la collega direttamente allo scalo, questa disposizione le permette di ricevere treni completi.



Figura 47: Microaree della piattaforma logistica (fonte: Analisi informazioni raccolte)

### 5.2.2 Interporto SITO

S.I.T.O S.p.A. è una società mista pubblico-privata, a capitale prevalentemente pubblico, essa si occupa della costruzione e della gestione dell'interporto di Torino. L'interporto si estende su una superficie di quasi 3.000.000 m<sup>2</sup>, valore non molto lontano dai 4.100.000 m<sup>2</sup> dell'interporto di Bologna. Ad oggi sono attivi circa 900.000 m<sup>2</sup>, occupati da magazzini di 200 operatori logistici, di questi circa 60.000 m<sup>2</sup> sono magazzini raccordati con binario interno o adiacente.

Considerando l'aspetto prettamente infrastrutturale SITO è munito di 7 binari, ad essi si aggiungono le aste di raccordo con i magazzini raccordati. Sito Logistica S.c.p.A si occupa della gestione di due binari operativi. I suoi clienti sono prevalentemente grandi operatori logistici. Vengono utilizzati 4 carrelli con forche a sbalzo per il trasporto diffuso.

Due binari presenti nell'area S.I.T.O sono dedicati al trasporto di container ad opera di Torino Terminal Container S.r.l, società costituita dalla famiglia Scarangella, che lavora nel campo dagli anni 70'. Il terminal container si estende su un'area di 80.000 m<sup>2</sup>, con capacità di stoccaggio massima di

112.000 UTI/anno, l'area dedicata allo stoccaggio tocca i 60.000 m<sup>2</sup>. Per le operazioni di carico/scarico vengono utilizzate 4 gru semoventi frontali ed è presente anche un locomotore [sito 17].

Complessivamente nel 2017 sono state movimentate circa 600.000 tonnellate di merce, le quali hanno contribuito alla formazione di 557 treni. S.I.T.O inoltre ha in dotazione un centro di controllo movimentazione ferroviaria con rilevazione Wi-fi e circa 100.000 m<sup>2</sup> di aree dedicate ad uffici [18].



*Figura 48: Terminal interporto SITO (fonte: Sopralluogo del 13/11/2019)*

### **5.2.3 Centro Agro Alimentare di Torino (CAAT)**

Nasce nel 1989 grazie al supporto del Comune di Torino la società CAAT S.c.p.A, con il preciso compito fornire una nuova sede al mercato ortofrutticolo della città ed alle imprese che lo forniscono. I lavori di realizzazione sono stati conclusi nel 2002 e ad oggi il CAAT dedica alla logistica della filiera agro-alimentare un'area pari a circa 440.000 m<sup>2</sup>. La tipologia e l'entità dei flussi gestiti dal CAAT sono riassunti nelle seguenti tabelle.

CATEGORIA	[tonnellate/anno]
Frutta Fresca	208 577
Frutta Secca	4 027
Agrumi	105 287
Ortaggi	211 470
Totale	529 361

Tabella 13: ton/anno movimentate, anno 2018

CATEGORIA	LOCALE	ITALIA	EUROPA	EXTRA-UE
Agrumi	//	22	22	8
Frutta Secca	8	27	25	40
Frutta Fresca	34	46	5	15
Ortaggi	27	43	10	10
Legumi	23	47	15	15

Tabella 14: Principali aree di provenienza della merce, anno 2018 (dati in %)

DESTINATARI MERCE	QUOTA [%]
Grossisti provincia	16
Grossisti fuori provincia	11
Grande Distribuzione Indiretto	12
Grande Distribuzione Diretto	8
Ambulanti	30
Negozi al dettaglio	14
Estero	9

Tabella 15: Destinazione della merce commercializzata nel mercato, anno 2018

I dati relativi al 2017 sono riportati in tabella 16:

CATEGORIA	[tonnellate/anno]
Frutta Fresca	75 673
Frutta Secca	3 873
Agrumi	181 193
Ortaggi	227 908
Totale	488 647

Tabella 16: Ton/anno movimentate, anno 2017

Si evince dunque in un anno un incremento dei traffici pari a 40.714 ton/anno. Il CAAT al momento movimentata la totalità della merce su strada, tuttavia in fase di progettazione è stata prevista una predisposizione ad un collegamento tramite binario raccordato alle infrastrutture di S.I.T.O [sito 18].

#### 5.2.4 Termovalorizzatore

TRM S.p.A (Trattamento Rifiuti Metropolitan) è la società del Gruppo Iren che ha realizzato e gestisce il termovalorizzatore della Città di Torino. L'impianto tratta rifiuti solidi urbani (RSU) e speciali assimilabili agli urbani (RSA), provenienti da tutta la provincia di Torino. Costruito tra il 2010 ed il 2013, dopo un anno di collaudi e test è entrato in piena attività nel maggio del 2014.

Il termovalorizzatore può operare in due differenti assetti:

- Assetto solo elettrico, producendo energia necessaria a soddisfare il fabbisogno di circa 175.000 nuclei familiari composti da tre persone.
- Assetto cogenerativo, ovvero fornendo energia sia elettriche che termica per il teleriscaldamento, generando ogni anno l'energia necessaria a scaldare 17.000 abitazioni da 100 m<sup>2</sup> e 160.000 nuclei familiari composti da tre persone.

La valorizzazione dell'energia contenuta nei rifiuti consente un recupero di circa 70.000 tonnellate di petrolio equivalenti (TEP) all'anno [sito 19].

Dalla Relazione annuale relativa al funzionamento ed alla sorveglianza dell'impianto per l'anno 2017, scaricabile dal sito del Comune di Torino, emergono i seguenti numeri:

- Rifiuti conferiti al termovalorizzatore pari a 510.971,160 tonnellate in un anno.
- Rifiuti prodotti dal termovalorizzatore pari a 130.471 tonnellate in un anno.



Figura 49: Termovalorizzatore di Torino (fonte: <https://www.irenambiente.it/>)

## 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.

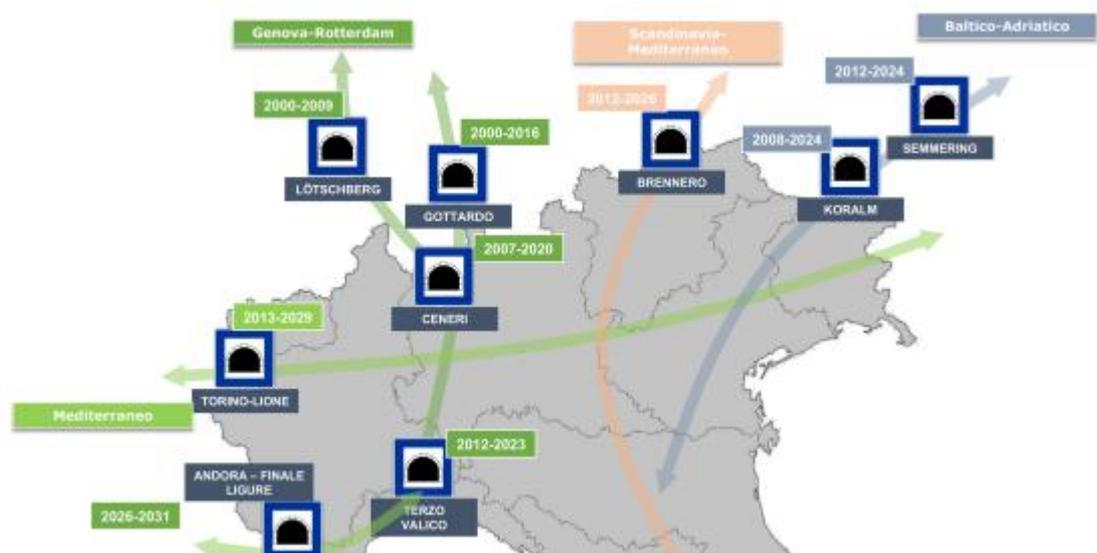


Figura 50: Corridoi europei e relativi valichi (fonte: Elaborazione CERTeT)

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

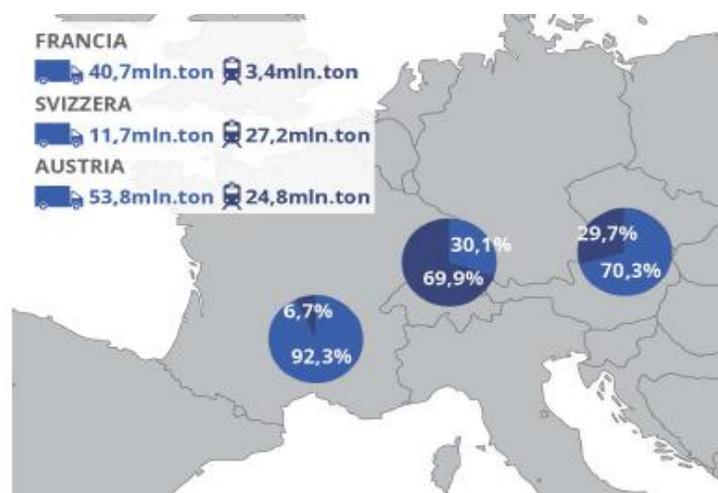


Figura 51: Traffici internazionali attraverso le Alpi 2017(fonte: DG MOVE e FOT)

In tabella 17 ed in figura 51 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 tonn\*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 svizzeri.

Questa ripartizione è diretta conseguenza delle forti politiche di incentivazione adottate dal governo elvetico. Per il 2030 sono previste 970 tracce totali. Affinché si realizzi un riequilibrio modale è necessario adottare politiche che incentivino:

- Una stabilizzazione del ferrobuss 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 [19].

## **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 52 è rappresentato il trend degli scambi commerciali tra Italia ed Europa occidentale a partire dal 2006 fino al 2017.

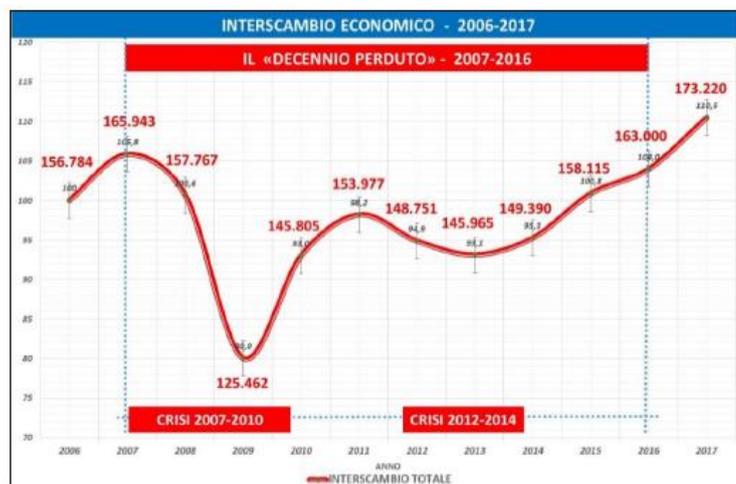


Figura 52: Trend degli scambi commerciali tra Italia ed Europa occidentale (fonte: Quaderno 11 Osservatorio Torino-Lione)

Entrando nel dettaglio, in figura 53, 54, e 55 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:

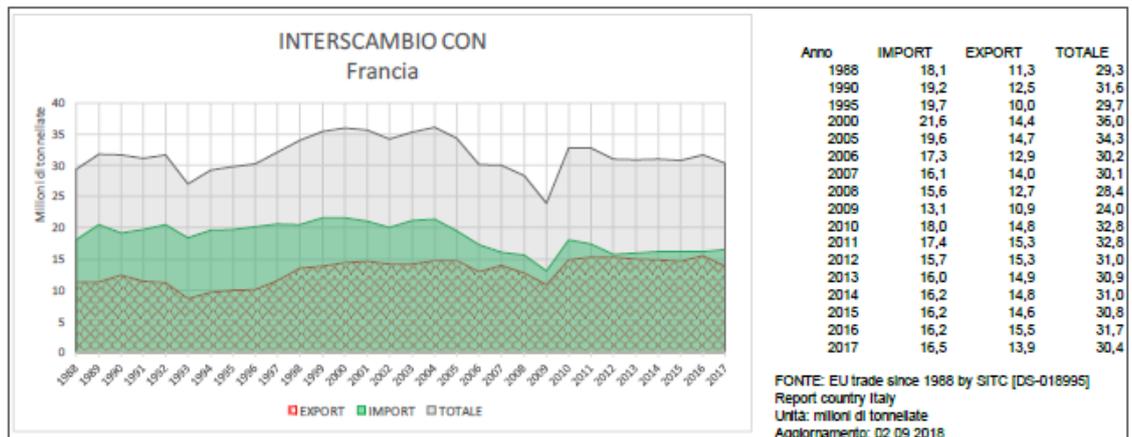


Figura 53: Scambi in termini di milioni di tonnellate/anno tra Italia e Francia (fonte: Quaderno 11 Osservatorio Torino-Lione)

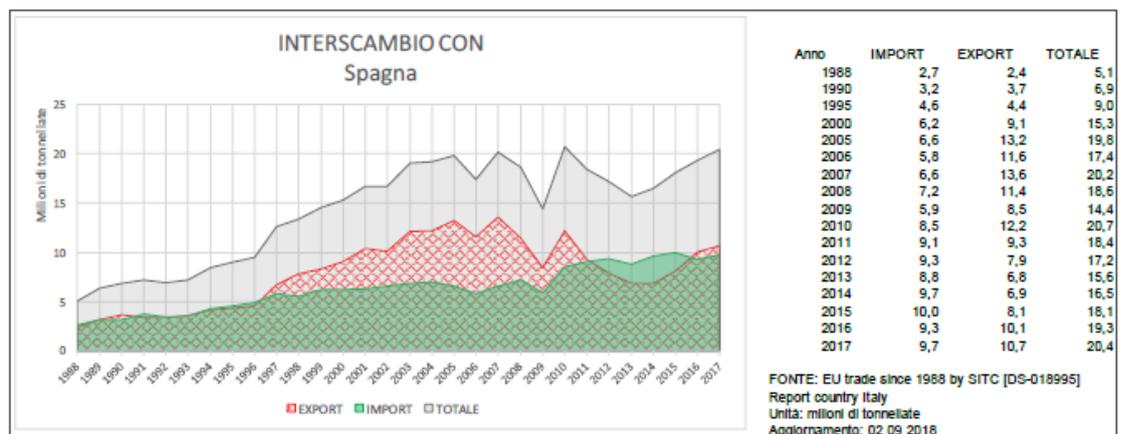


Figura 54: Scambi in termini di milioni di tonnellate/anno tra Italia e Spagna (fonte: Quaderno 11 Osservatorio Torino-Lione)

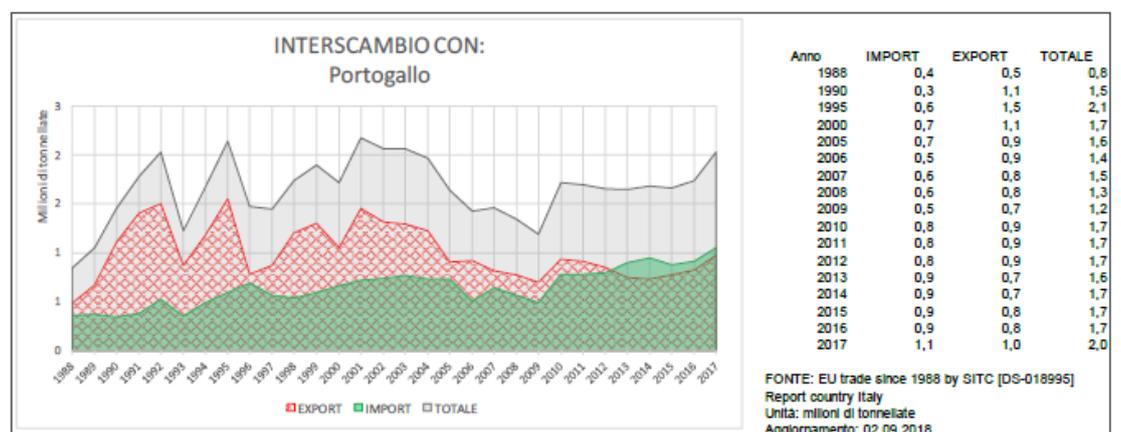


Figura 55: Scambi in termini di milioni di tonnellate/anno tra Italia e Portogallo (fonte: Quaderno 11 Osservatorio Torino-Lione)

Sono stati totalmente ignorati i flussi diretti verso il Regno Unito, ipotesi questa molto cautelativa, poiché esistono scambi commerciali che attraversando l'Arco Alpino Occidentale hanno la loro destinazione oltremontana. 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 18 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 [15].

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 18: 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 un +6% rispetto all'anno precedente. Questo trend risulta evidente nei dati riportati in figura 56, 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 57, ovvero una certa distanza dagli standard europei. In figura 58 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, al contempo 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 realizzazione delle infrastrutture ferroviarie necessarie sull'Arco Alpino Occidentale e non solo. Per il raggiungimento degli obiettivi descritti un ruolo chiave può essere ricoperto dalla piattaforma logistica di Torino-Orbassano, sia in ottica presente che futura.

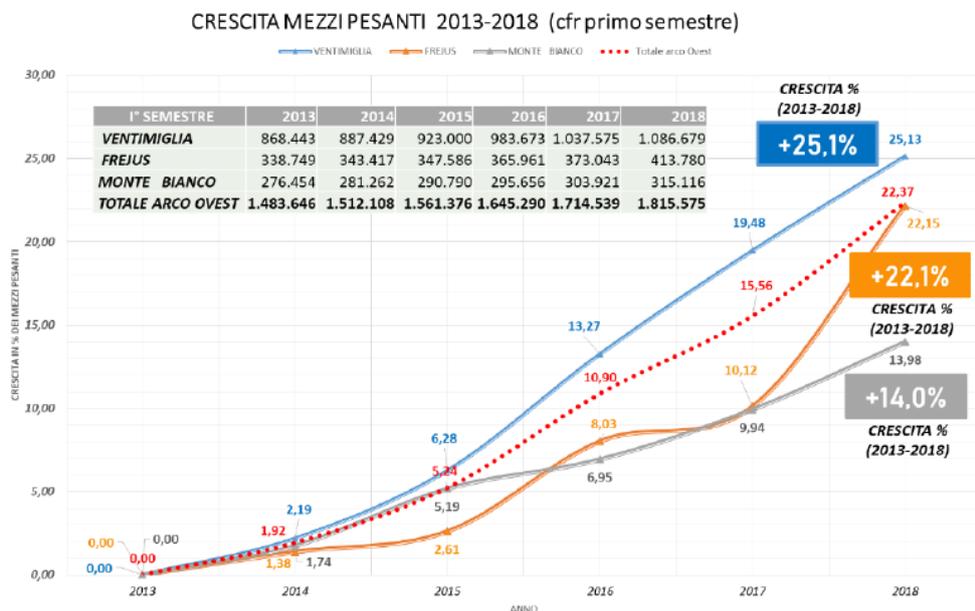


Figura 56: Flussi di mezzi pesanti attraverso i valichi alpini occidentali dal 2013 al primo semestre 2018 (fonte: Quaderno 11 Osservatorio Torino-Lione)

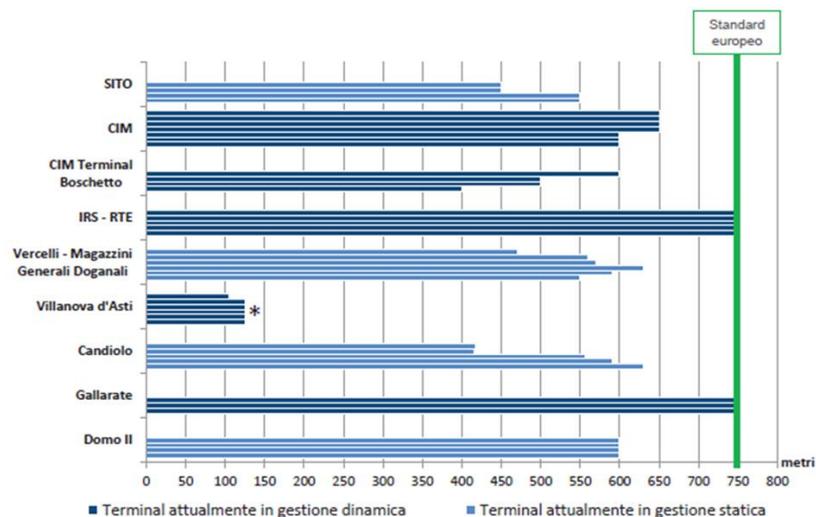


Figura 57: Lunghezza dei binari di carico e scarico (fonte: Piattaforma logistica del Nord Ovest)

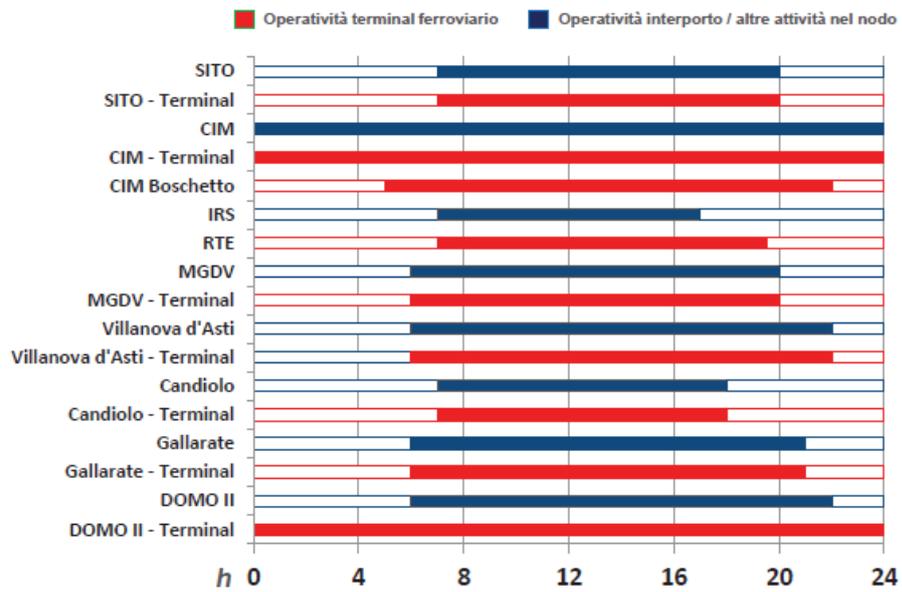


Figura 58: Operatività nodi e terminal ferroviari (fonte: Piattaforma logistica del Nord Ovest)

### **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 accumulati 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 differenzia 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 19 ed in figura 59.

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

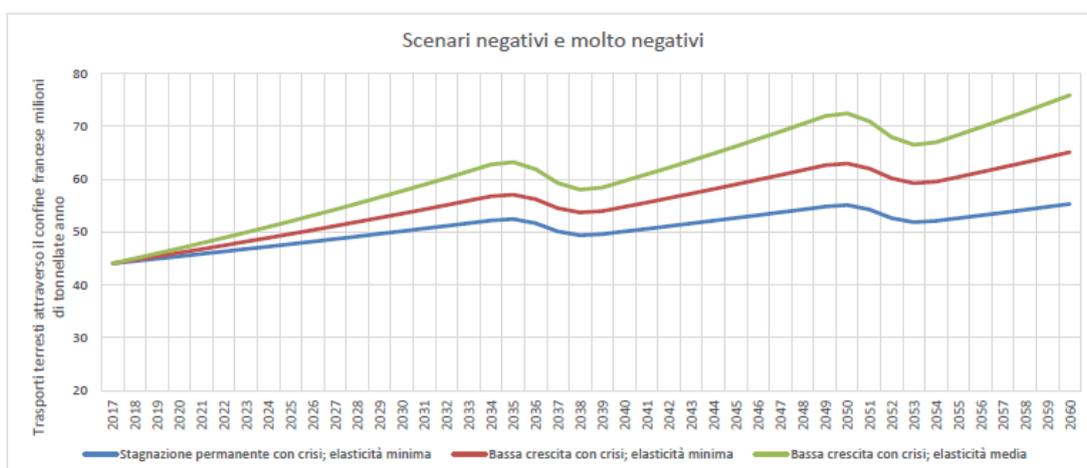


Figura 59: Beni da trasportare attraverso il confine francese in termini di milioni di tonnellate per anno (fonte: Quaderno 11 Osservatorio Torino-Lione)

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 20, dati questi confrontati in figura 60 con lo scenario “Bassa crescita 1”.

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

Tabella 20: Flussi restituiti dallo Scenario Realistico in termini di milioni di tonnellate trasportate per anno attraverso il confine francese (fonte: Quaderno 11 Osservatorio Torino-Lione)

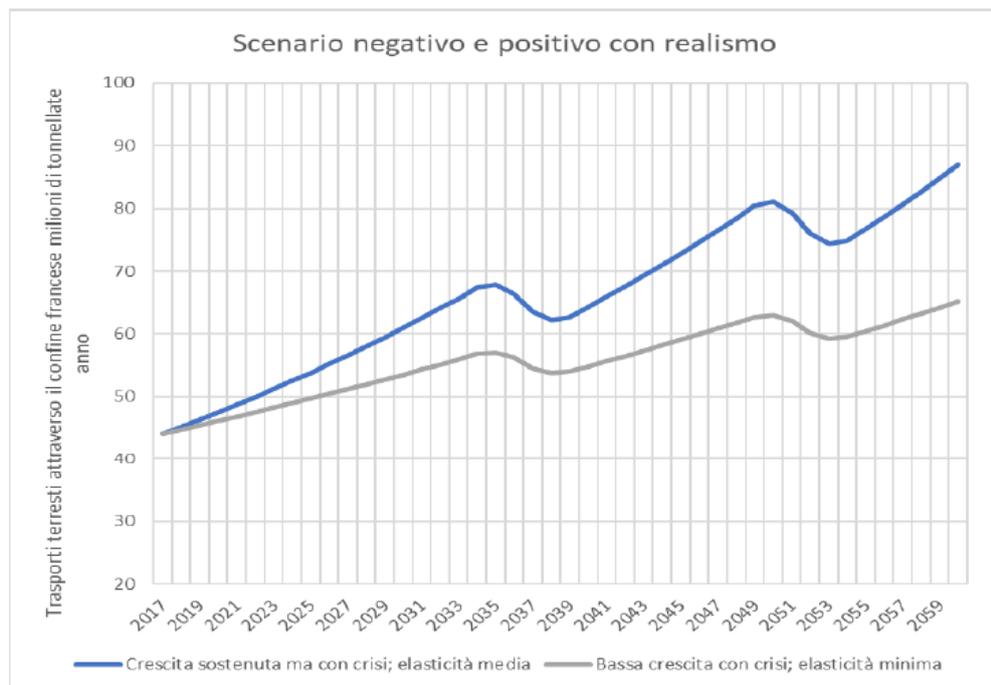


Figura 60: Confronto tra “Scenario realistico” e “Scenario Bassa crescita 1” (fonte: Quaderno 11 Osservatorio Torino-Lione)

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 uno split modale a favore della ferrovia per andare incontro alle esigenze descritte nel terzo capitolo di questo elaborato [15]. 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 61: Ripartizione modale in presenza di una nuova infrastruttura (fonte: Quaderno 15 Osservatorio Torino-Lione)

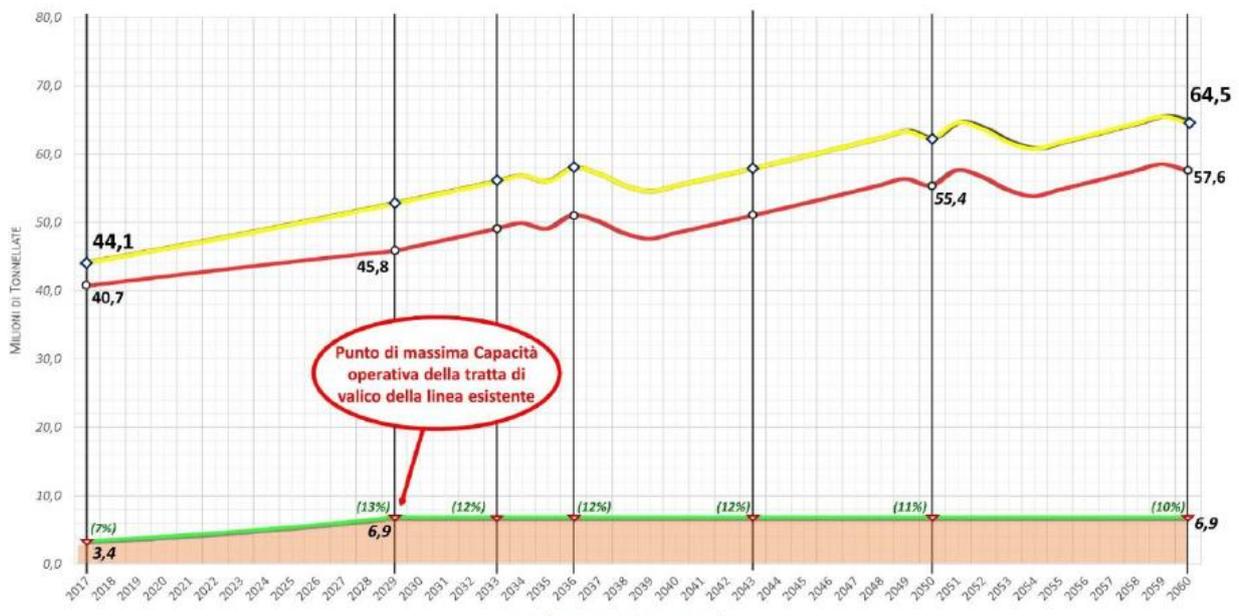


Figura 62: Ripartizione modale in assenza di una nuova infrastruttura (fonte: Quaderno 15 Osservatorio Torino-Lione)

## **6.4 Piattaforma logistica 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 ed il secondo eseguito nel 2019 dal Politecnico di Torino e riguardante l'intero sistema ferroviario piemontese.

**“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:

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

Le ipotesi poste alla base del modello sono le seguenti:

- 1) Crescita del trasporto tradizionale e combinato non portuale.
- 2) 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.
- 3) 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 63:

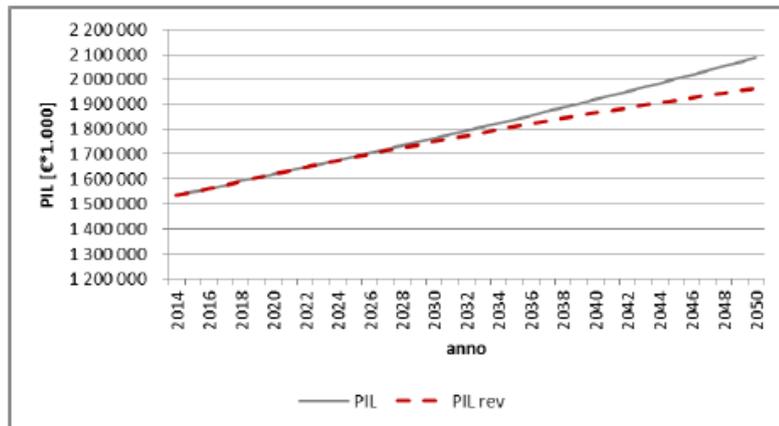


Figura 63: Trend evolutivo del PIL italiano, (fonte: Elaborazione dati Prometeia)

- 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 64:

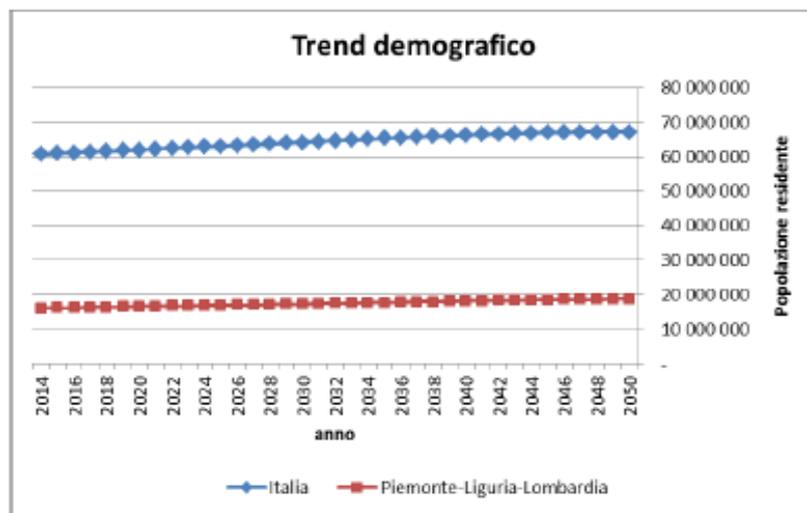


Figura 64: Andamento demografico nazionale e del Nord-Ovest (fonte: Eurostat)

- 4) 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.
- 5) 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 65 vengono riassunti gli interventi di ammodernamento delle reti viaria e ferroviaria del Nord Ovest a partire dallo stato attuale.

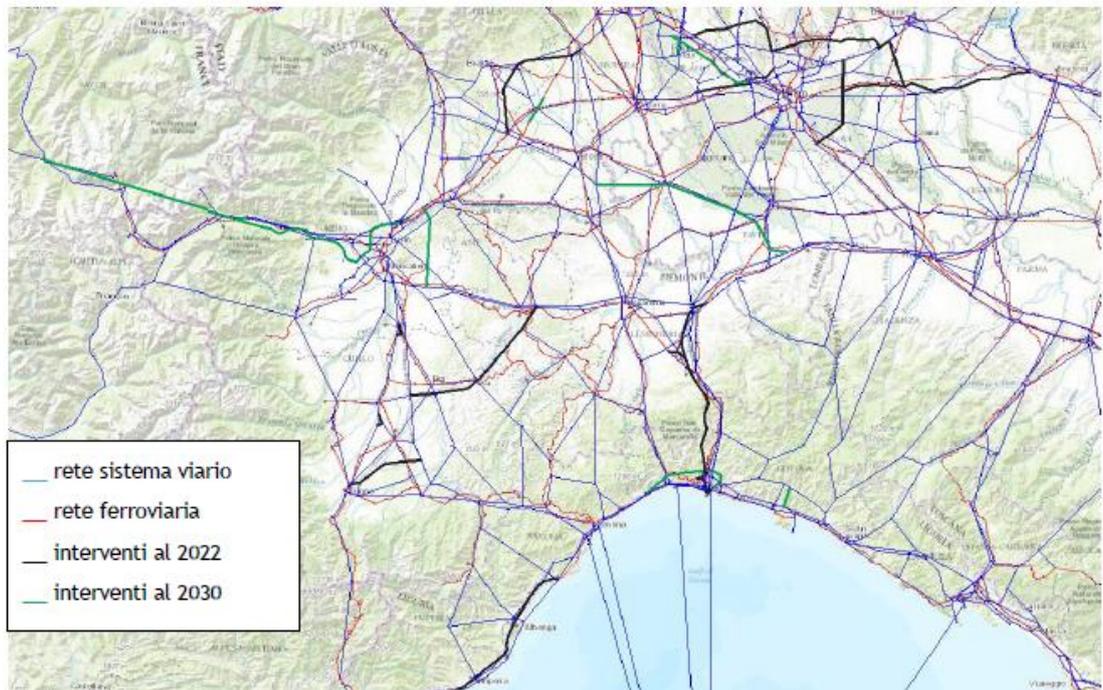


Figura 65: Grafo della rete con principali interventi inerziali infrastrutturali (fonte: Studio Fase II)

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 21:

O/D	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 21: Variazione domanda totale di trasporto merci (fonte: Studio Fase II)

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 22: Traffico per terminale in termini di tonn/anno in arrivo ed in partenza (fonte: Studio Fase II)

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.  
[20]

**“Analisi del sistema ferroviario piemontese: capacità della rete in relazione ai flussi di traffico attuali e futuri”.** 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:
  - a) La totalità dei traffici diretti verso la Francia passi da Torino-Orbassano a causa della saturazione di Ventimiglia.
  - b) Torino-Orbassano funge da retroporto di Vado Ligure.
  - c) Il valore finale di flusso diretto in Francia è ricavato come media aritmetica dei flussi previsti negli otto scenari descritti in tabella 23.

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 33 si ottiene per Torino-Orbassano un flusso di 110.000 TEU's anno proveniente dalla piattaforma di Vado Ligure [21].

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 23: Distribuzioni dei flussi ipotizzate (Fonte: Polito)

In figura 66 sono rappresentati i tempi di percorrenza al 2019 della tratta Vado Ligure – Torino-Orbassano. Un collegamento efficace è fondamentale per lo sviluppo della piattaforma logistica di Torino-Orbassano considerando anche la possibilità che esso assuma la funzione di retroporto di Vado Ligure.

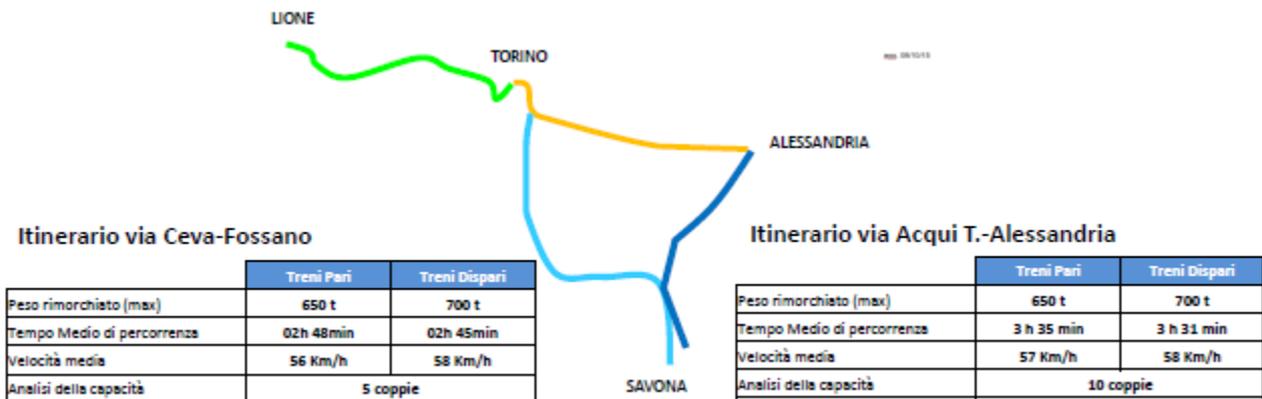


Figura 66: Tempi di percorrenza della tratta Vado Ligure – Torino-Orbassano (fonte: Stati Generali della Logistica del Nord Ovest)

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 [22].

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 [20]:

- 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<sup>2</sup> attrezzato con:
  - o 24 RMG elettriche semi-automatiche;
  - o 22 trattori a basso impatto inquinante;
  - o 952 allacci refer.

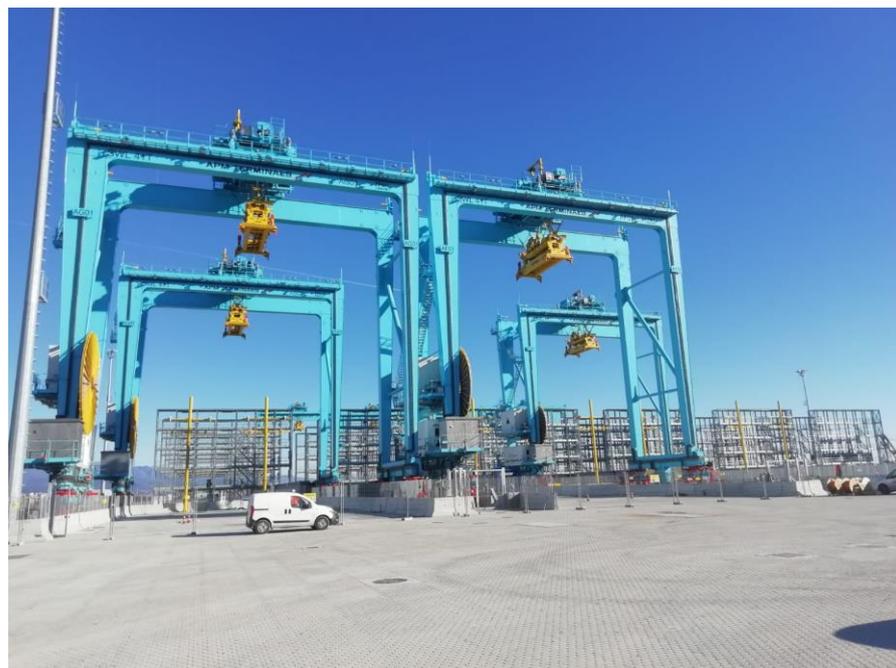


Figura 67: Piattaforma di Vado Ligure in fase di realizzazione (fonte: Visita guidata 18/01/19)

## **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. Dati i limiti infrastrutturali e di gabarit della Linea Storica, con il fine di aumentare la quota modale ferroviaria per il breve e medio termine, si suggerisce in questo elaborato il 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. Il raddoppio della piattaforma non sarebbe la soluzione definitiva, ma una soluzione tampone in attesa dell'apertura della linea AV/AC 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 terminale intermodale**

Questo capitolo è stato elaborato a partire dal testo “Interporti e terminali intermodali” di: Bruno Dalla Chiara, Danilo Marigo e Gianfranco Benzo.

### **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.

Volendo schematizzare dunque:

- Il primo aspetto da prendere in considerazione per la realizzazione di un terminal intermodale è quello geografico, ovvero ricercare una collocazione in zone di intersezione tra più direttrici importanti. Un esempio è fornito dal terminal gateway di Busto Arsizio-Gallarate, esso infatti si colloca orientativamente nell'intersezione tra il Corridoio Reno Alpi ed il Corridoio Mediterraneo.
- Il secondo aspetto da prendere in considerazione è l'integrazione tra l'infrastruttura ed il tessuto produttivo circostante, intesa come l'esigenza di infrastrutture economico-industriali atte a garantire una corretta interazione tra le realtà produttive che si serviranno del terminal intermodale ed il terminal intermodale stesso. Un terminal riesce a lavorare meglio se è in grado di produrre un servizio regolare ed un buon tasso di riempimento dei convogli ferroviari.
- Il terzo aspetto da prendere in considerazione è la necessità di dover realizzare tutte le infrastrutture e tutti i servizi che permettono una corretta interazione tra terminale intermodale e contesto urbano circostante.

## **7.2 Valutazione d'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.

L'elaborazione di progetti di interessi pubblico prevede tre fasi distinte:

- Progetto preliminare, finalizzato ad ottenere l'ammissione al contributo statale.
- Progetto definitivo, finalizzato alla stipula di un'apposita convenzione, nella fattispecie con il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.
- Progetto esecutivo, ai fini dell'ottenimento di tutte le approvazioni di legge ed a consentire l'inizio delle procedure di affidamento dei lavori.

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 [1]:

- 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 [23]:

- **Terminal di piccole dimensioni**, al loro interno generalmente opera una gru semovente con portata superiore alle 30 tonnellate, dotata di spreader telescopico. La superficie indicativa totale varia tra i 10.000 ed i 15.000 m<sup>2</sup>, 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<sup>2</sup>, 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 2 ed una o 2 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<sup>2</sup> 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.
- Lunghezza totale minima dei binari operativi pari a 1400 metri.
- Coefficiente di dotazione infrastrutturale minimo pari a 30 m<sup>2</sup> ogni m di binario operativo.
- Superficie minima richiesta 42.000 m<sup>2</sup>.
- 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.

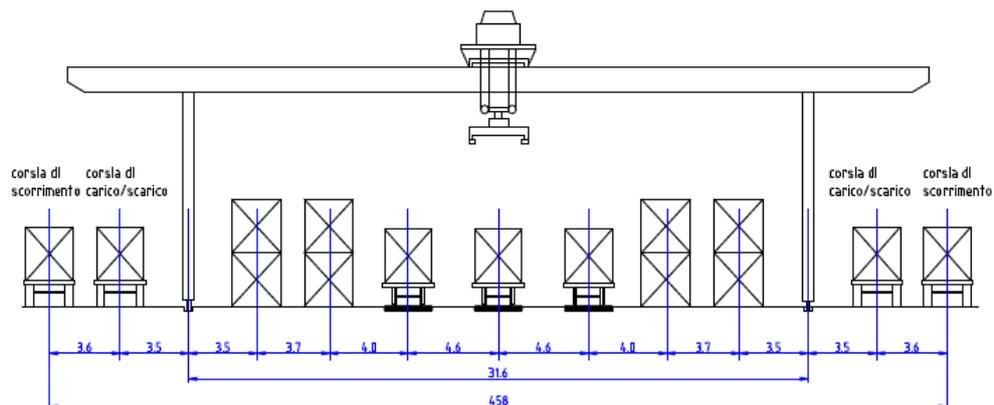


Figura 68: Schematizzazione dimensioni terminal gateway (fonte: Slide TET Anno Accademico 2017-2018)

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 [23]:

- **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**, si hanno due differenti approcci nella gestione di un terminal, ovvero: gestione statica e gestione dinamica. Nel primo caso sul binario virtuale equivalente arriva un treno alla mattina, viene scaricato, sosta a vuoto e riparte carico alla sera, dunque si parla di una coppia di treni servita al giorno. Con la gestione dinamica invece sul singolo binario virtuale equivalente vengono servite mediamente 2-3 coppie di treni al giorno, questo tipo di gestione risulta essere più complessa, ma garantisce potenzialità maggiori e ad oggi è la più utilizzata, tanto che in futuro probabilmente verrà abbandonato l'approccio statico.

## **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) [23].

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

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

Quanto descritto in chiave teorica in questo capitolo trova applicazione pratica nell'Allegato 1.

### 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 dai 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. Un esempio in tal senso è fornito da Strada del Portone. Essa teoricamente costituirebbe un 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 a fronte dei 4.9 milioni attuali. All'interno di queste cifre si ricorda che il solo porto di Vado Ligure dirotterà verosimilmente su Torino-Orbassano circa 110.000 TEU's l'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 per la redazione dello stesso. 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.

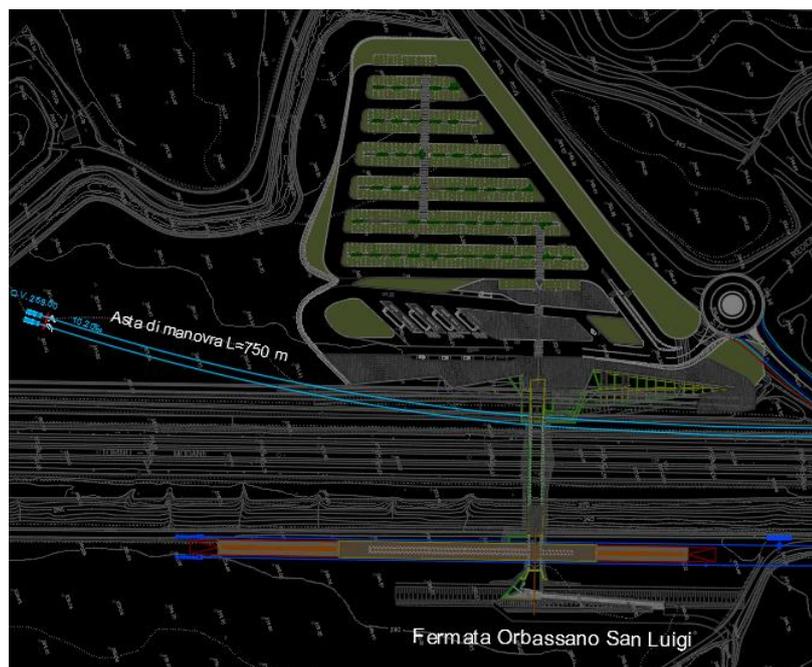


Figura 69: Estrapolazione dal file Autocad del progetto della fermata Orbassano San Luigi

- **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, si riportano dunque 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 dedicata alle verifiche.

Gli assi dei binari delle due piattaforme vengono progettati ad una distanza di 120 metri, in modo tale da avere circa 52.000 m<sup>2</sup> 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 strade 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 70:

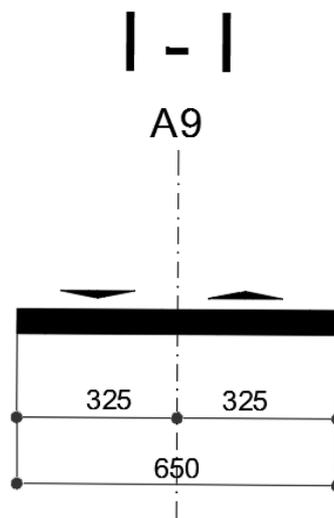


Figura 70: Esempio sezione stradale utilizzata per la viabilità interna Modalohr 2, misure in cm

Le intersezioni tra viabilità interna o esterna e binari delle piattaforme 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<sup>2</sup>, al suo interno sarà 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 71:

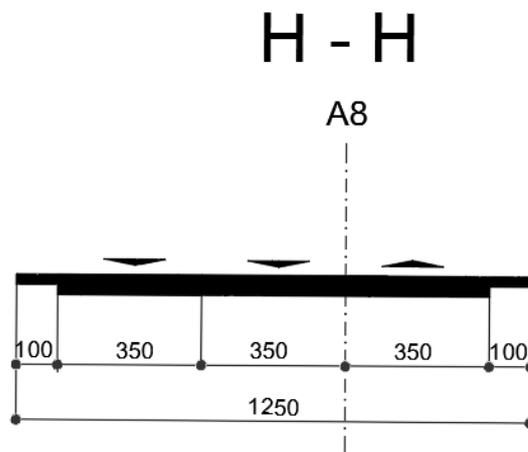


Figura 71: Esempio sezione stradale utilizzata per accesso ad AFA dalla tangenziale, misure in cm

- **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 72, nella stessa figura inoltre è possibile notare il punto in cui è stata ricavata la sezione H-H precedentemente descritta.



Figura 72: Estratto Autocad dell'intersezione e della riorganizzazione di Strada del Portone

- **Collegamento stradale tra rotonda 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 73:

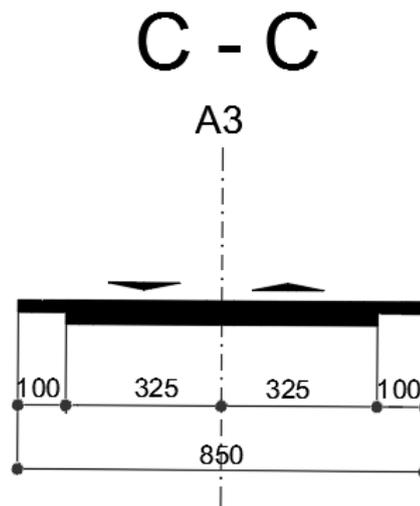


Figura 73: Esempio sezione stradale utilizzata per il collegamento all'AFA, misure in cm

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

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 24: 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 25: 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 26: Imposizioni sui livelli di servizio

Un rettilineo 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 include 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 75, mentre una sua sezione è schematizzata in figura 74:

E - E

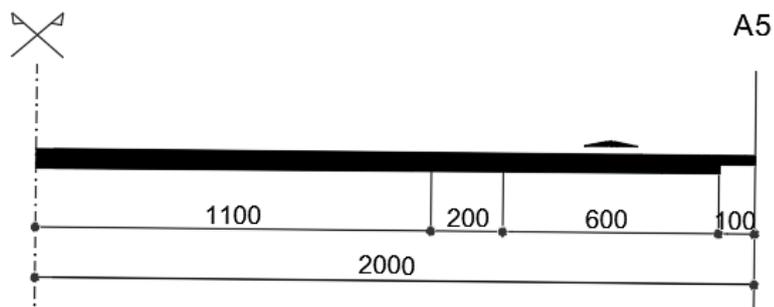


Figura 74: Esempio sezione della rotatoria, misure in cm

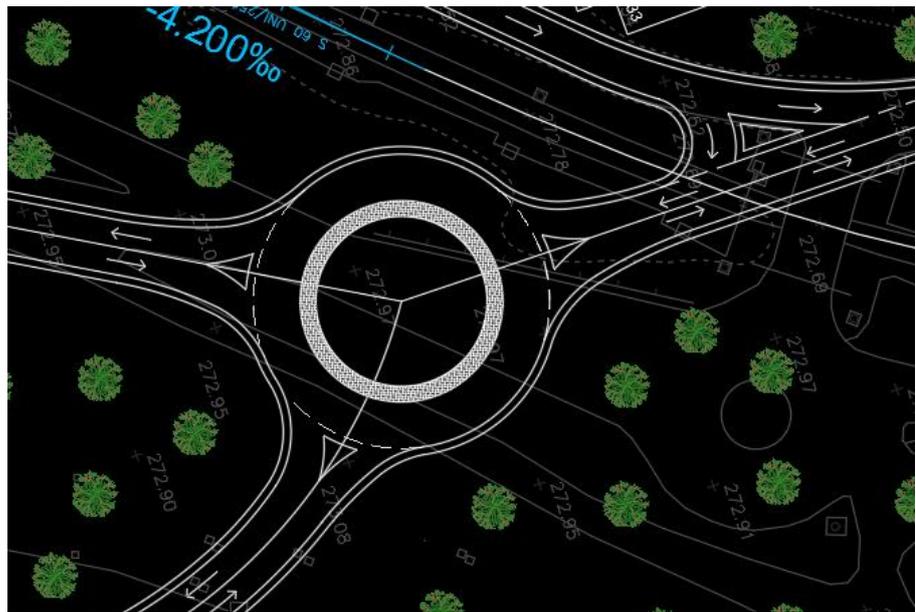


Figura 75: Estratto Autocad della rotondella posizionata agli ingressi dell'AFA

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 rotondella progettata in questa sede si sono rispettati particolari criteri progettuali. Poiché il diametro esterno è pari a 40 metri, innanzitutto si parla di rotondella convenzionale. L'isola centrale presenta un diametro di 11 metri, il cordolo sormontabile invece si estende per 2 metri.

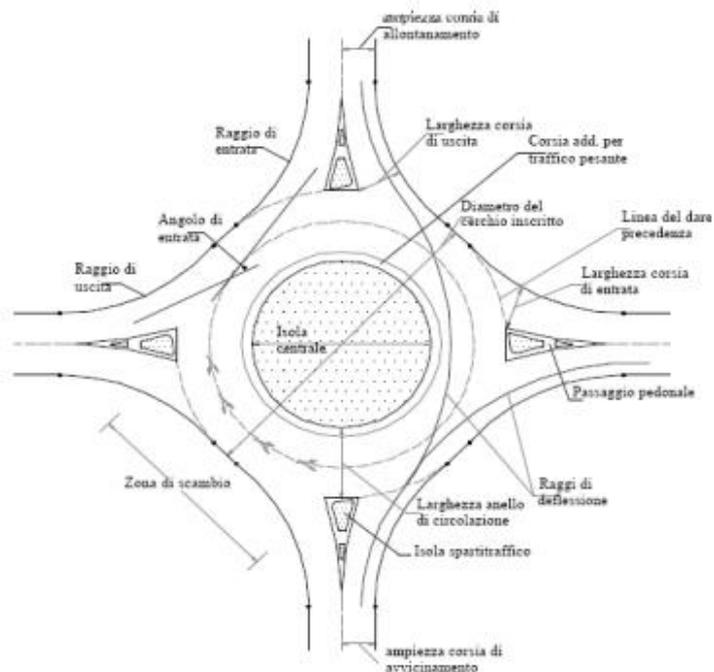


Figura 76: Nomenclatura elementi costituenti una rotondella (fonte: Slide Teoria e Tecnica della Circolazione, Università degli Studi di Roma, Tor Vergata, U. Crisalli)

Elemento modulare	Diametro esterno della rotatoria (m)	Larghezza corsie (m)
Corsie nella corona rotatoria (*), per ingressi ad una corsia	$\geq 40$	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	$\geq 40$	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
	$\geq 25$	4,50

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

Figura 77: 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 hanno larghezze rispettivamente superiori ai 3.5 ed ai 4.5 metri.

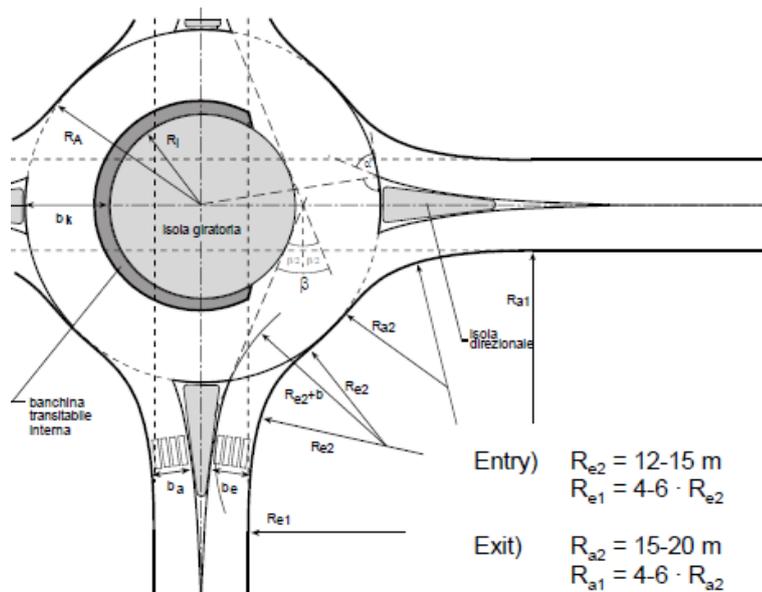


Figura 78: Requisiti progettuali bicentriche (fonte: Slide Design of Transportation Infrastructures Anno Accademico 2018-2019)

In fase di progettazione sono stati scelti i seguenti valori per i raggi delle bicentriche che costituiscono gli ingressi e le uscite:

**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 79:

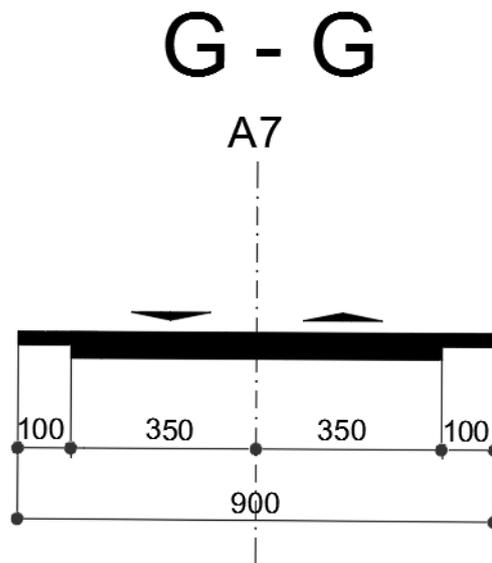


Figura 79: Esempio sezione stradale Strada del Portone, misure in cm

- **Rotatoria situata su Strada del Portone 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. L'isola centrale presenta un diametro di 2.5 metri, il cordolo sormontabile invece si estende per 2 metri.

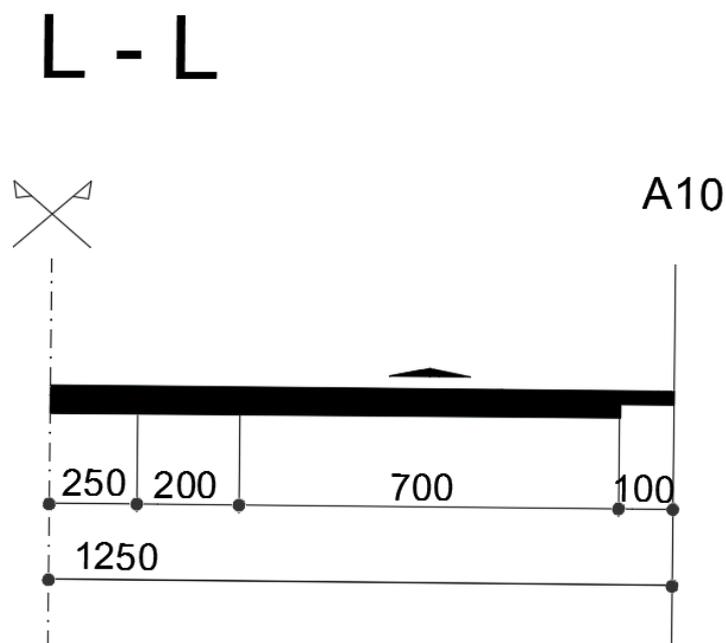


Figura 80: Esempio sezione della rotatoria, misure in cm

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, quindi in questo caso la scelta progettuale si è diretta su corsie larghe 3.5 metri, 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 81:

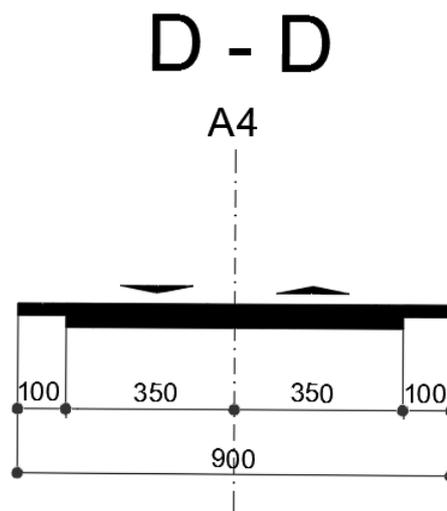


Figura 81: Esempio sezione stradale utilizzata per le strade d'ingresso AFA, misure in cm

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, i minimi previsti sono riportati in tabella 27:

CATEGORIA	AMBITO	V <sub>p</sub> min [km/h]	RAGGIO MINIMO [m]
F1	EXTRAURBANO	40	45
F2	EXTRAURBANO	40	45

Tabella 27: 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. Data la notevole larghezza dell'infrastruttura esistente è stato possibile predisporre la presenza di banchine di larghezza pari ad un metro e di una corsia di larghezza pari a 3.5 metri, valore questo superiore alla norma Essa soprattutto in situazioni di emergenza può rivelarsi fondamentale. La sezione stradale è rappresentata in figura 82:

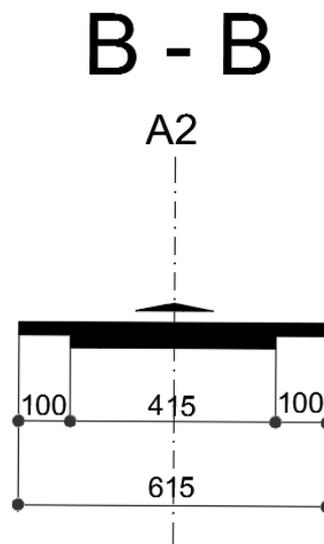


Figura 82: Esempio sezione stradale utilizzata per le strada di uscita da Modalohr 1, misure in cm

La strada di uscita da Modalohr 1 si ricongiunge alle altre infrastrutture stradali mediante l'intersezione rappresentata in figura 83:

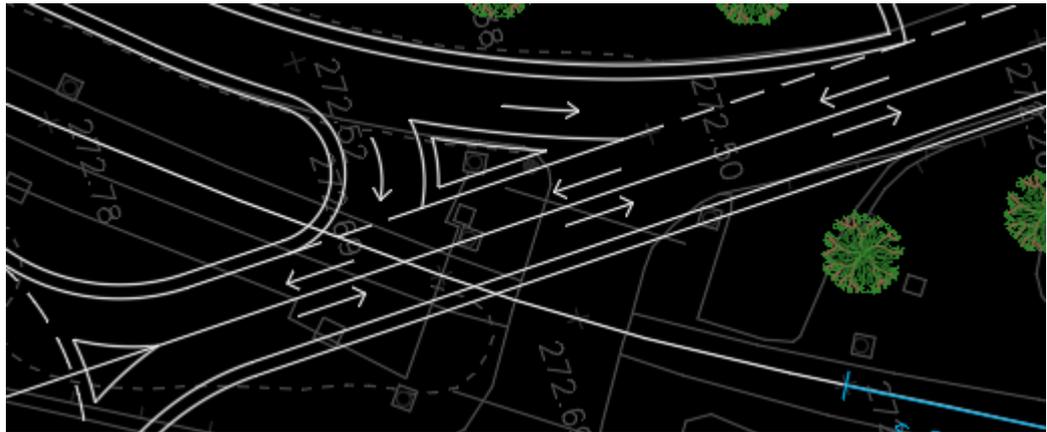


Figura 83: Estratto Autocad intersezione stradale uscita Modalohr 1 e strada di collegamento con Strada del Portone

**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.

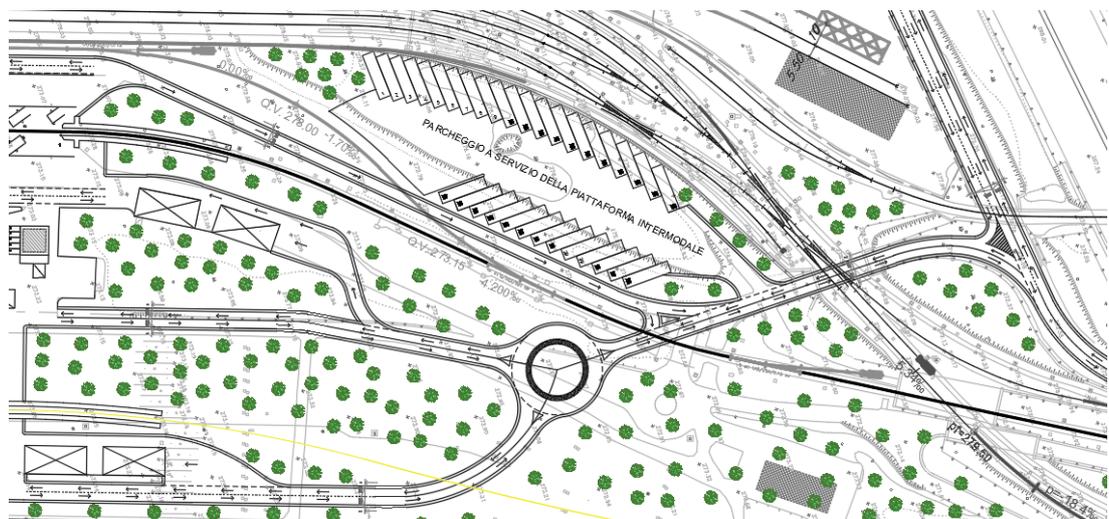


Figura 84: Estratto dello spazio carta di Autocad, comprendente tutte le infrastrutture stradali di accesso all'AFA ed il parcheggio a servizio della piattaforma intermodale

**Parco fotovoltaico 1**, è stato deciso di dedicare aree della piattaforma logistica 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<sup>2</sup> 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 85: 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<sup>2</sup> 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 destinate a 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.

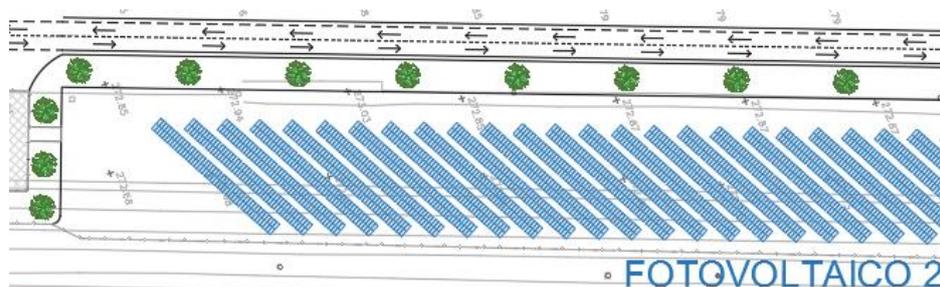


Figura 86: Estratto dello spazio carta di Autocad rappresentante l'ingresso e parte del parco fotovoltaico 2

**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<sup>2</sup>, con la possibilità di accesso a colonnine di approvvigionamento elettrico a servizio dei container refrigerati.



Figura 87: 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 2 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 elettrificati (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, tuttavia in questa sede non viene approvata sia la disposizione degli accessi scelta che l'irregolarità degli stessi.

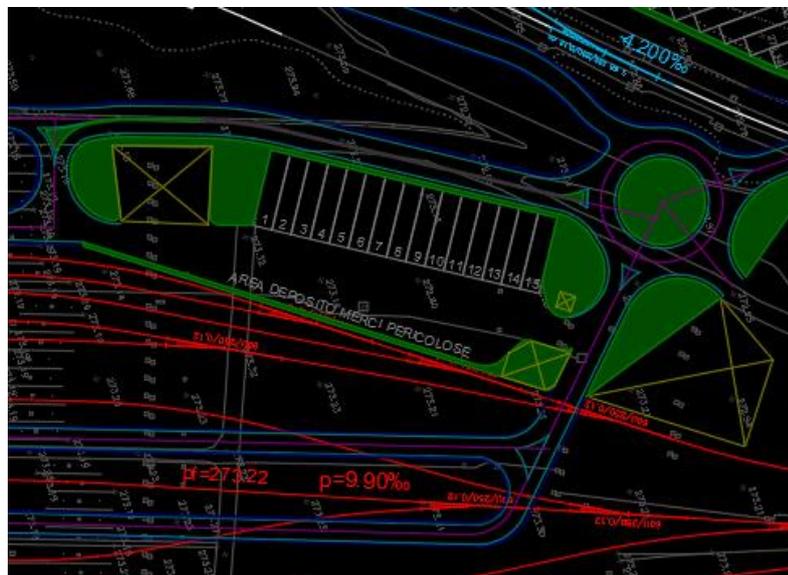
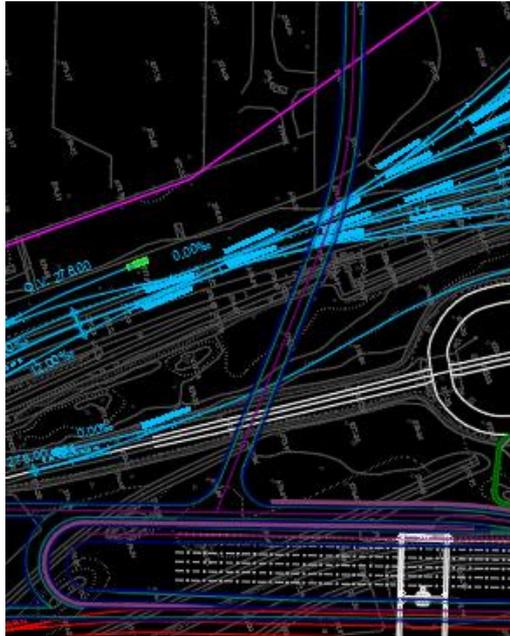


Figura 88: Estratto Autocad fornito da RFI, ingressi AFA e terminal gateway

In figura 89 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 89: 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 i 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 da apportare 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 con posizione e 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 è dotato di 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 sono delegate a portali OCR. Sono stati previsti tre piazzali:

- Piazzale posteriore, si estende per circa 1250 m<sup>2</sup> ed ha il compito di ospitare mezzi in maniera temporanea.
- Area deposito container, trattasi di una superficie pari a circa 15.000 m<sup>2</sup>, 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:

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

$$C = \frac{1024.6 \cdot 3 \cdot 0.65 \cdot 365}{2 \cdot 13} = 28.000 \text{ UTI/anno}$$

- Piazzale di sicurezza, ha un'estensione pari a circa 1500 m<sup>2</sup> 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.

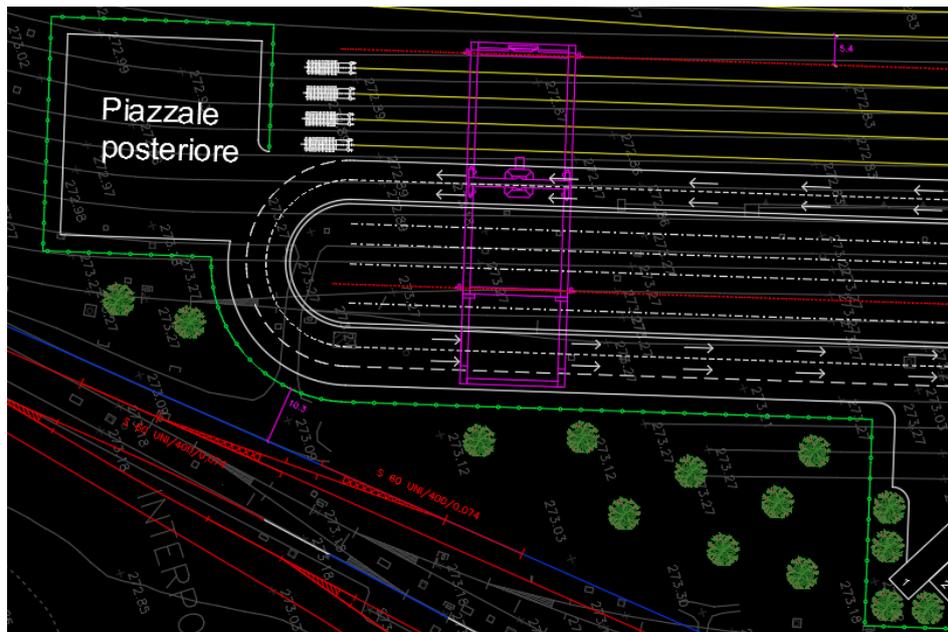


Figura 90: Estratto Autocad settore posteriore del terminal gateway

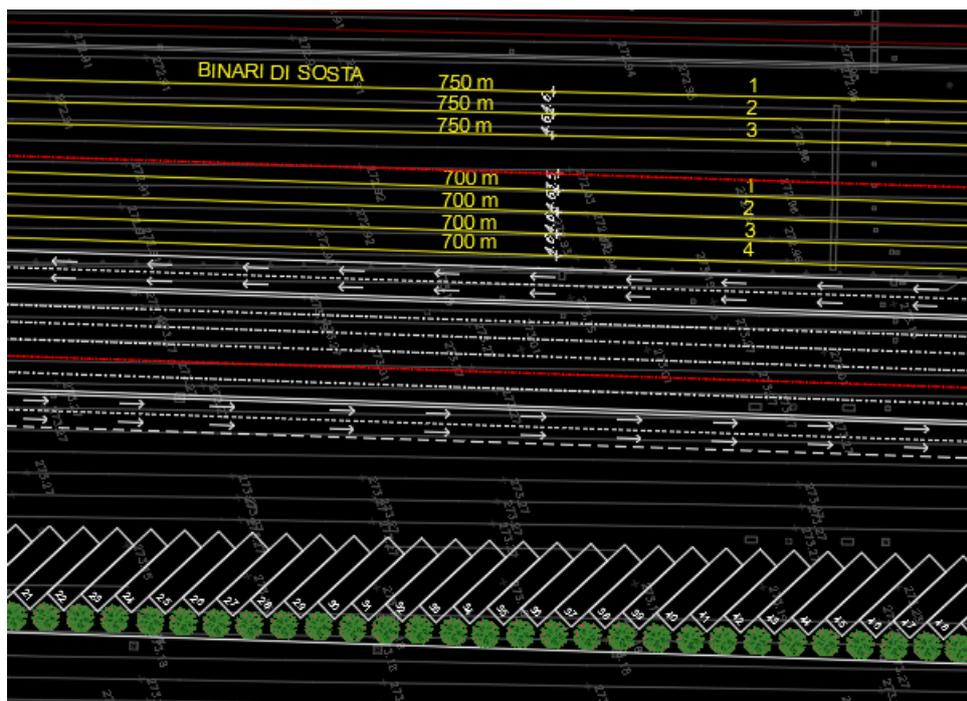


Figura 91: Estratto Autocad settore centrale del terminal gateway e stalli per i semirimorchi

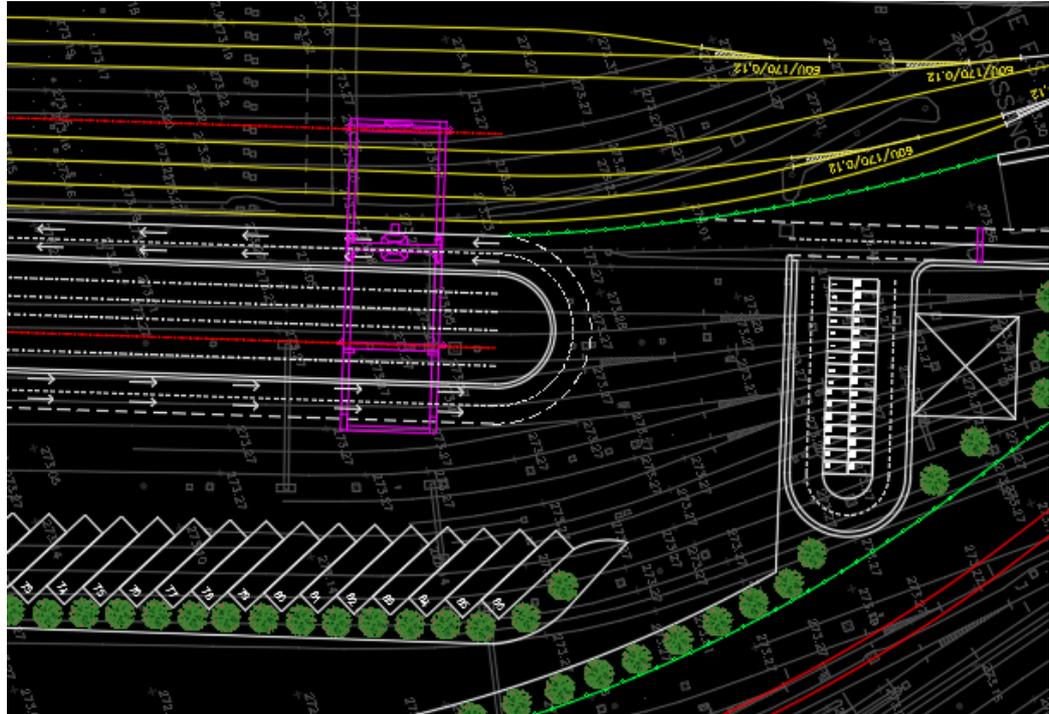


Figura 92: Estratto Autocad zona d'ingresso del terminal gateway

**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 zebra, 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 zebra 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 stradale all'uscita dal sottopassaggio. RFI propone un tracciato con livelletta del +5%, in questa sede si è deciso di superare il dislivello di 6 metri con un percorso lungo circa 180 metri, quindi riducendo la livelletta al 3%. Questa scelta progettuale implica la necessità di ricorrere a muri di sostegno più

estesi, tuttavia si agevola la marcia dei mezzi pesanti. Una livelletta minore è più facilmente affrontabile da veicoli carichi.

Il collegamento descritto è appartenente alla categoria F2, con sezione stradale rappresentata in figura 93:

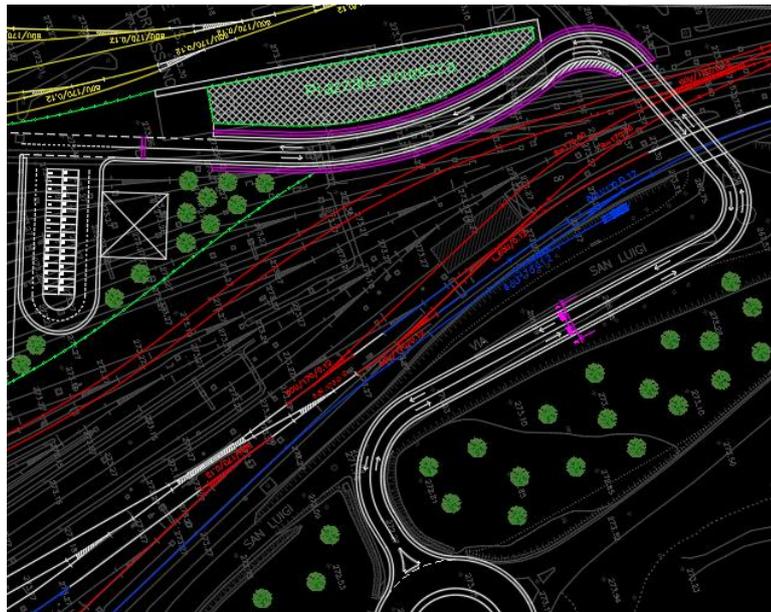


Figura 93: Estratto Autocad, strada di accesso al terminal gateway

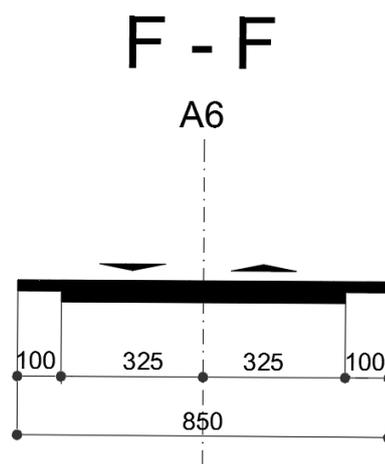


Figura 94: Esempio sezione stradale utilizzata per la strada d'ingresso al terminal gateway, misure in cm

**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 95 viene riportato il lavoro di progettazione eseguito e vengono evidenziate con layers diversi le due cartografie usate.



Figura 95: 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 previsto dalla normativa.

## **9. Progetto di simulazione**

Per la stesura di questo capitolo è stato preso come riferimento il lavoro di tesi di Davide Andreoli, il quale ha riportato nozioni contenute nel corso “Simulazione dei sistemi gestionali”, seguito presso il Politecnico di Torino [24].

La simulazione viene definita come “Imitazione delle attività di un processo o di un sistema reale nel tempo”. Essa rappresenta uno strumento che può essere utilizzato per la risoluzione di problemi reali: permette di prevedere il comportamento di un sistema in determinate situazioni e fornisce risultati di supporto utili alla determinazione degli interventi da apportare.

Risulta importante sottolineare che la simulazione si limita a fornire previsioni delle prestazioni di un sistema dopo aver imposto determinate condizioni: non vengono restituite direttamente soluzioni ottimizzate, ma l’ambiente simulativo permette di testare le conseguenze di scelte differenti. Per poter simulare correttamente è necessario costruire un modello e fornire allo stesso tutti i dati di input opportuni, in modo tale da avere una rappresentazione più realistica possibile del sistema oggetto di analisi.

### **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, per poi individuare i principali indicatori di performance.

In contemporanea si effettua la determinazione delle diverse componenti del sistema, dei relativi parametri, delle variabili e si avvia la fase di raccolta dati. Attraverso opportune assunzioni e semplificazioni si creano dei modelli concettuali atti a rappresentare i diversi processi. All’interno del modello

concettuale vengono indicate sia le componenti del sistema reale rappresentate che quelle escluse dalla simulazione.

Il livello di dettaglio della simulazione è funzione sia dell'utilizzo finale dei risultati attesi sia della disponibilità di dati di input. Tenzialmente il modus operandi prevede la creazione di un modello base al quale progressivamente viene aggiunto grado di dettaglio.

### **9.1.2 Analisi degli input**

Questa fase si basa sulle interviste e sulle raccolte dati necessarie affinché vengano individuate le distribuzioni statistiche dei processi reali. Nel caso specifico di questo elaborato è stato effettuato un lavoro di ricerca sul valore della domanda di trasporto, sui tempi di arrivo e su quelli di processo. Inoltre, in questa fase vengono specificate le disponibilità di risorse e tutte le peculiarità del sistema che devono essere necessariamente incluse nel modello di simulazione.

Dove la raccolta dati ha restituito buoni risultati si ricerca per gli stessi una distribuzione statistica in grado di descriverli, in questa fase strumenti come l'Input Analyzer di Arena possono essere di supporto. Nel caso in cui la raccolta dati non fosse attuabile 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**

Si hanno diverse tipologie di modelli di simulazione, ognuna di queste è più adatta a rappresentare determinati sistemi e si basa su diversi strumenti software. In prima istanza i modelli di simulazione possono essere divisi in: "Statici" se rappresentano il sistema in uno specifico istante di tempo o in "Dinamici" se descrivono il comportamento del sistema durante la sua evoluzione temporale. Una seconda distinzione è relativa all'introduzione di elementi randomici nella simulazione: i modelli "Deterministici" non presentano elementi randomici, quindi non presentano variabilità, a differenza di quanto accade con i modelli "Stocastici". Un'ulteriore suddivisione è quella che si effettua tra modelli "Discreti" e modelli

“Continui”; nei primi il sistema è rappresentato solo in certi istanti di tempo, nei secondi invece la rappresentazione è appunto continua.

Il modello alla base dell’elaborato di tesi è: 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 banchi 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, software utilizzato per la realizzazione delle simulazioni riportate in questo elaborato, 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: in pratica si controlla se il modello rappresenta in maniera appropriata il sistema reale oggetto della simulazione. Un primo metodo di validazione è quello nel quale viene effettuato un confronto, a partire dagli stessi dati di input, tra gli output ottenuti dal modello e quelli restituiti dal sistema reale. Il confronto può essere effettuato senza l’uso di procedure statistiche oppure si ricorre all’applicazione di un intervallo di confidenza. In alternativa è possibile accertarsi che il modello sia valido confrontando i risultati ottenuti con quelli restituiti da studi simili, 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 le diverse scelte e modifiche che possono essere applicate al sistema: il confronto tra i risultati di simulazione dei diversi scenari consente d'individuare la 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 di 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.

Dopo aver effettuato il confronto tra i risultati dei diversi scenari si effettua un ulteriore raffronto con casi benchmark, sempre col fine ultimo di individuare l'alternativa migliore.

## **9.2 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.

Un'altra importante caratteristica di Arena è quella di essere integrato con Visual Basic for Application (VBA), il linguaggio di programmazione 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 consente inoltre di modificare i parametri di Arena garantendo numerose possibilità.

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 <u>Process</u> (es. gru)
	ESPRESSIONI	Formule ricorrenti utilizzate nei moduli <u>Hold</u> e <u>Decide</u> (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.

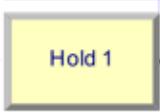
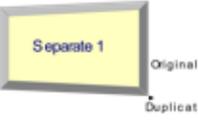
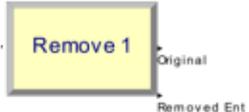
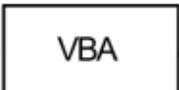
	HOLD	Trattiene le entità al suo interno fino al verificarsi di una determinata condizione (indicata in una espressione); possono generarsi code di entità al suo interno.
	SEPARATE	Divide un'entità in più duplicati.
	BATCH	Raggruppa più entità creandone una unica.
	SEARCH	Cerca una determinata entità 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 <u>Search</u> 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 28: Moduli e costrutti presenti all'interno di Arena

## 10. Simulazione piattaforma logistica di Torino-Orbassano

Il decimo capitolo di questo elaborato riporta integralmente il lavoro di simulazione della piattaforma logistica di Torino Orbassano, svolto da Davide Andreoli.

### 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, a riqualificazione avvenuta e con il contributo dei nuovi flussi di traffico merci derivanti dalla nuova linea Torino-Lione e dal porto di Vado Ligure.

Gli indicatori principali per valutare la capacità di risposta della piattaforma 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, cuore pulsante della piattaforma logistica.

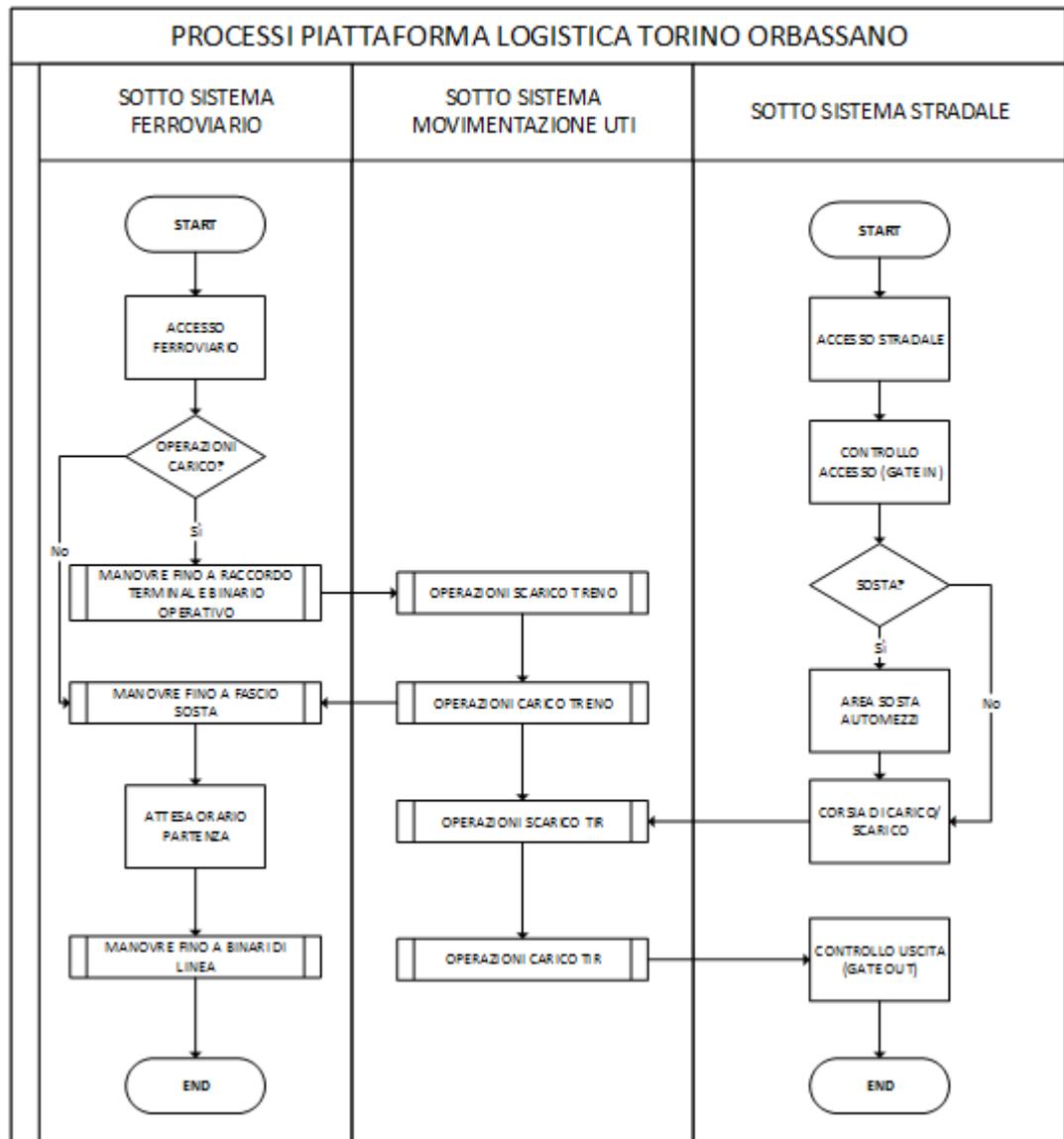


Figura 96: Flow chart operazioni divise nei tre sotto-sistemi

### 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 può variare tra 500 e 2000m.

Il segnalamento ferroviario garantisce sempre la distanza di sicurezza tra treni, attraverso il meccanismo delle sezioni di blocco: si fonda sul principio 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. Ivi è collocato 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), ovvero un localizzatore posto a 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" [25].

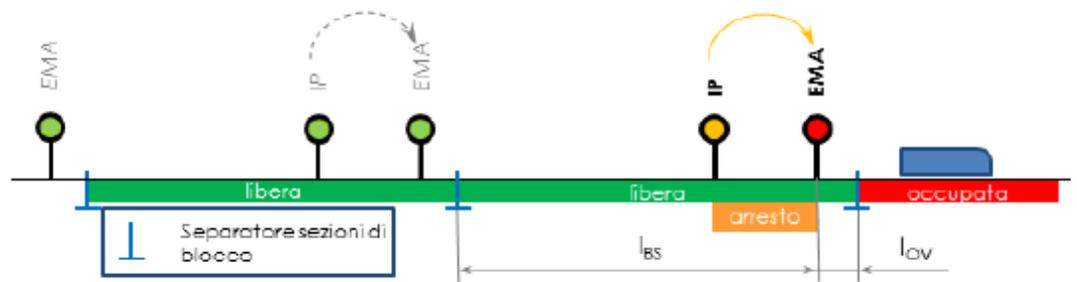


Figura 97: Sistema di segnalamento semplice con segnale di protezione e segnale di avvio (fonte: Dispense: "Segnalamento e capacità dei sistemi ferroviari" Anno Accademico 2018-2019)

Per la circolazione all'interno delle stazioni i principi restano gli stessi. Nelle piccole stazioni viene eseguito un movimento per volta, mentre nelle stazioni più grandi avvengono contemporaneamente movimenti di treni e manovre. I percorsi che i treni ricoprono 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 convertiti a via libera una volta che l'itinerario (o instradamento) viene formato. Possono essere eseguiti contemporaneamente itinerari e/o instradamenti che non coinvolgono 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, 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, l'Autostrada Ferroviaria Alpina 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 forniscono precedenza ai treni mentre altri attendono i tir per effettuare il trasbordo diretto delle UTI.

Per le operazioni di carico/scarico vengono utilizzati 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.

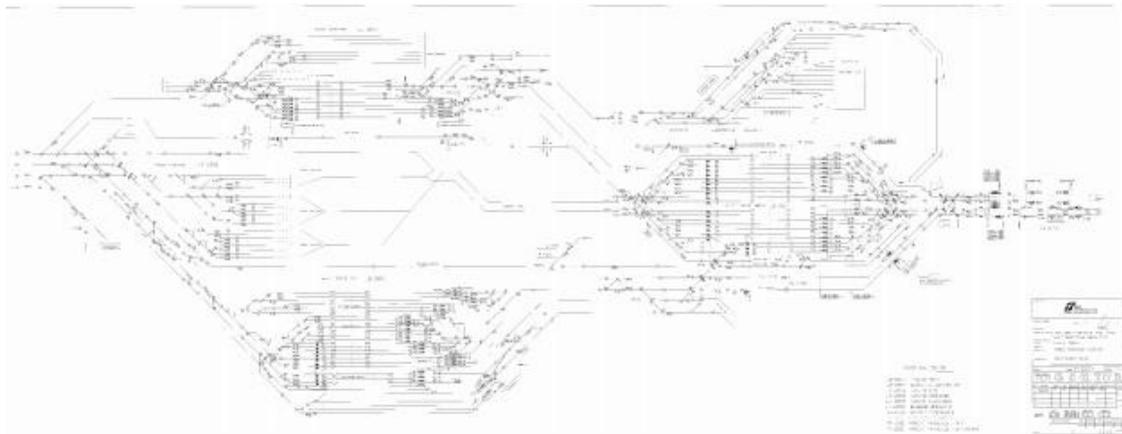


Figura 98: Piano schematico Torino-Orbassano

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.

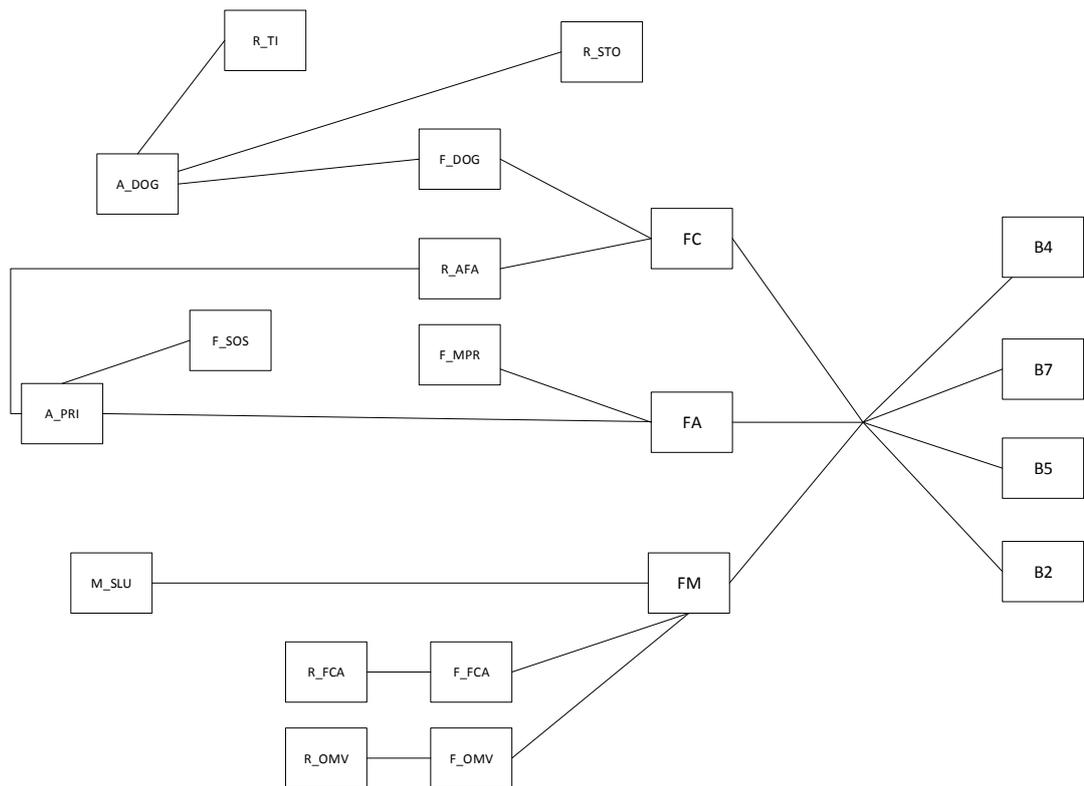


Figura 99: Nodi ed archi dello scalo ferroviario di Torino-Orbassano (2020)

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 29: Denominazione nodi dello scalo ferroviario di Torino Orbassano (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
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
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 30: Dati relativi ai nodi ferroviari nel file di input*



### 10.2.3 Traffico ferroviario

La ricostruzione del traffico ferroviario interno allo scalo è stata possibile 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 raccordi, 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 ed è una buona approssimazione in ottica trasporto intermodale.

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	GG ARR	ORA ARR	MIN ARR	GG PAR	ORA PAR	MIN PAR	NODO OBJ	INTERMODALE	CAT
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	1	MRI
5	13	17	44	13	20	8	34	0	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

Figura 101: Schema arrivi/partenze estratto dal file di input (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.

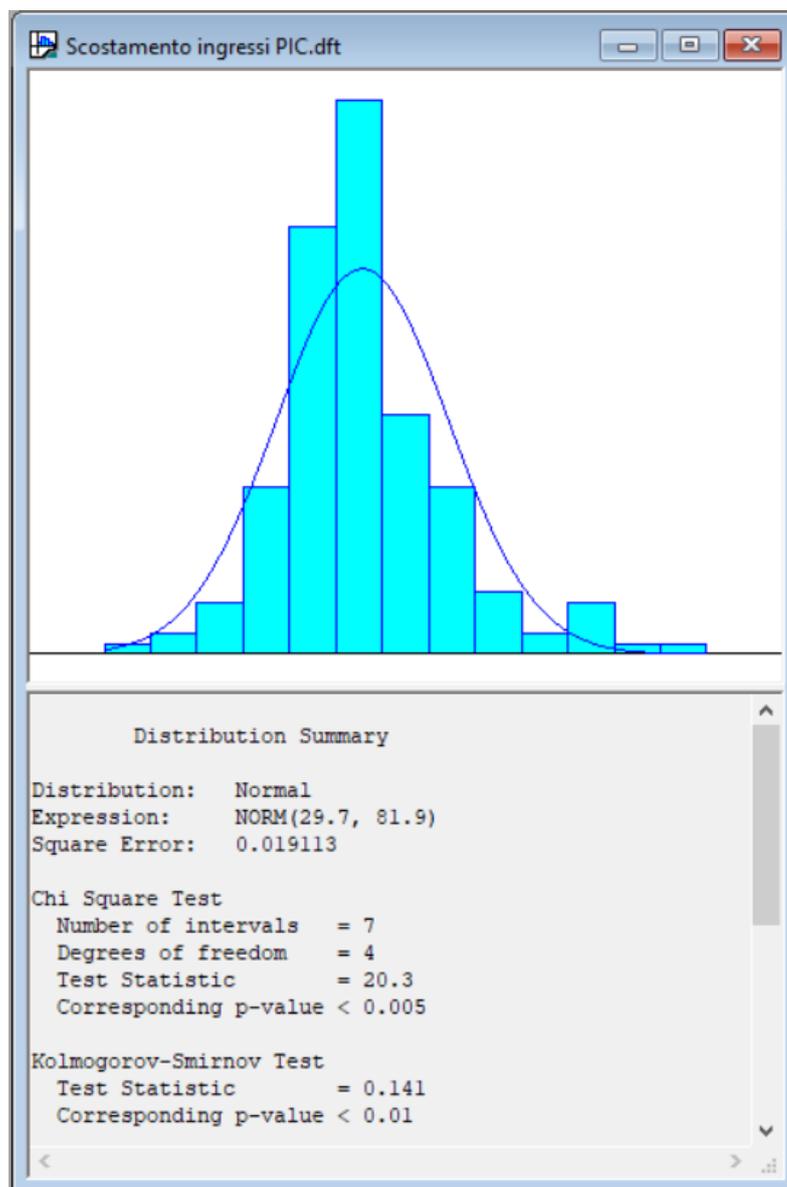


Figura 102: Schermata del tool Input Analyzer raffigurante la distribuzione degli scostamenti dei treni in entrata

Per rappresentare il ritardo dei tir è stata considerata la distribuzione utilizzata all'interno di uno studio di simulazione del Politecnico di Torino, 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: traslazione del carrello, scorrimento del portale, sollevamento e discesa, sono riportati in termini di velocità. 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 è 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.

#### **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 vengono create:

- La matrice degli itinerari (**mitinerari**), che racchiude la compatibilità tra le manovre interne allo scalo.
- La 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 svolge 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 la lunghezza/tempo di percorrenza dei nodi
- **LunghezzaArchi**, matrice che racchiude la lunghezza/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 nello 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**, ovvero 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 effettua intermodale.
- **UTIs scarica**, numero di UTI da scaricare nel terminal.
- **UTI carica**, 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 (UTIs scarica).

**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.

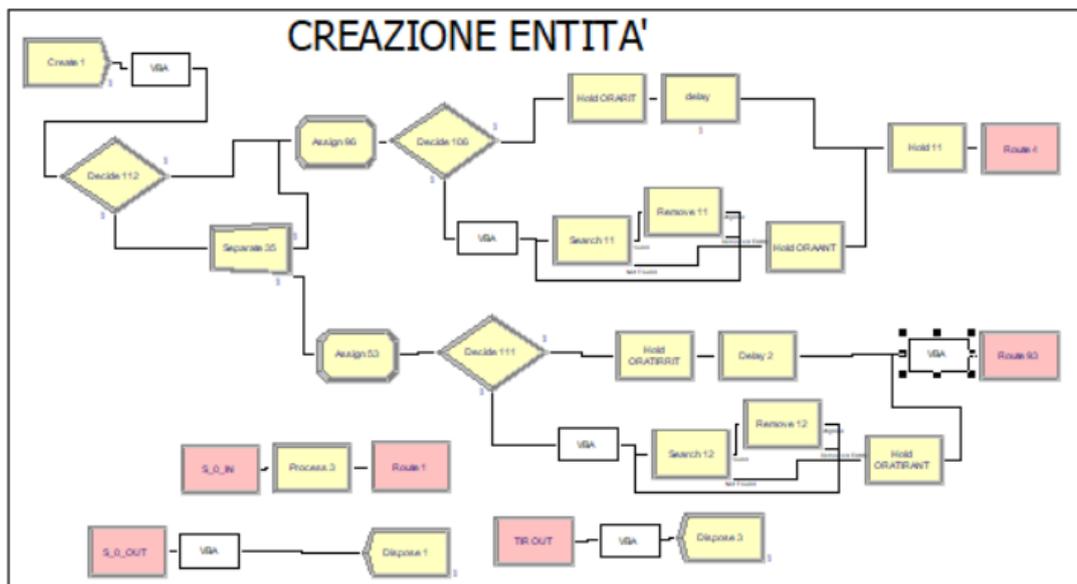


Figura 103: Schermata del blocco Arena "Ccreazione entità"

### 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.
- Viene letta la matrice **SeqItinerari** (con l'elenco degli itinerari da percorrere) e si aggiorna 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 vengono schedati come occupati (nella matrice Itinerari in Arena) l'itinerario corrente e tutti quelli incompatibili.

Si riporta 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 è "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 schedati 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 che li caratterizzano sono rintracciabili nel numero di binari presenti al loro interno e nel caso dei raccordi, nell'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, indicando 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, infine un modulo Leave comunica che l'entità è uscita dal nodo e il modulo Route indirizza l'entità alla seguente Station.

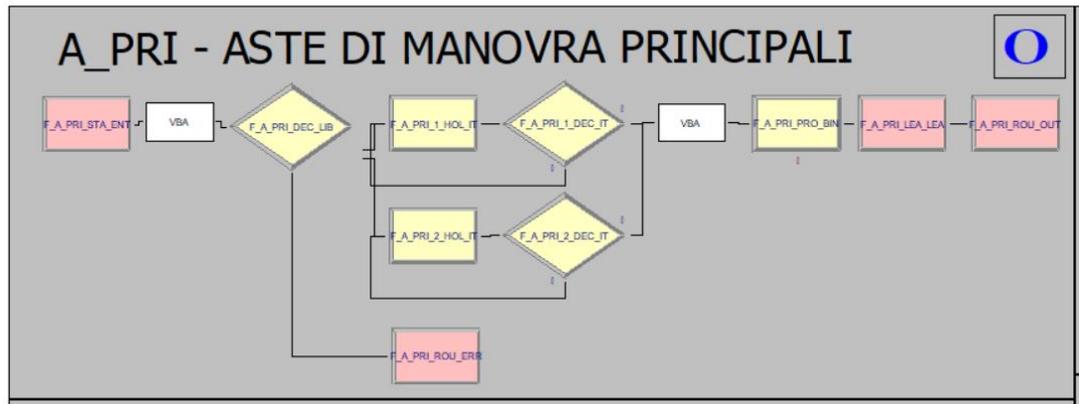


Figura 104: Schermata di un blocco Arena "Nodo ferroviario"

### 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.

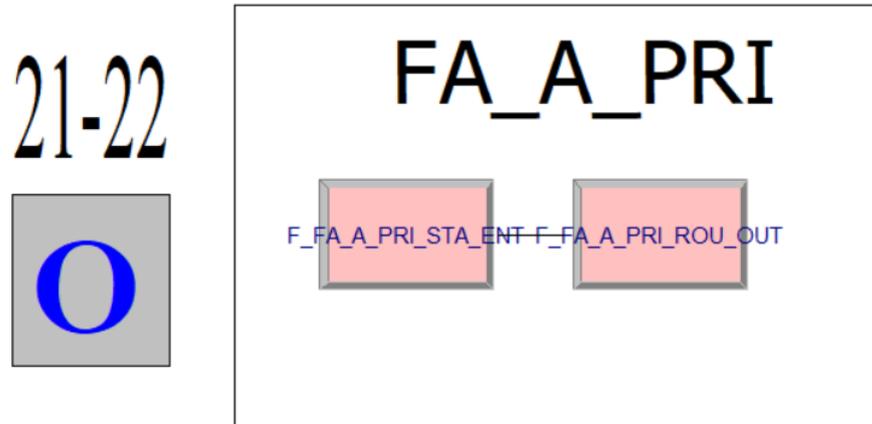


Figura 105: Schermata di un blocco Arena “Arco ferroviario”

### 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: 2 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 Decide effettua la scelta tra i 2 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 inseriti il numero di UTI da caricare e scaricare e l'ID del treno.

Un modulo Hold trattiene l'entità treno fino al completamento delle operazioni di carico nel blocco "Operazioni terminal", conclusa l'attività del terminal un altro modulo Assign salva il tempo delle operazioni di carico. Prima che l'entità esca dal binario operativo viene effettuato il controllo dell'itinerario attraverso i moduli Hold e Decid. 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.

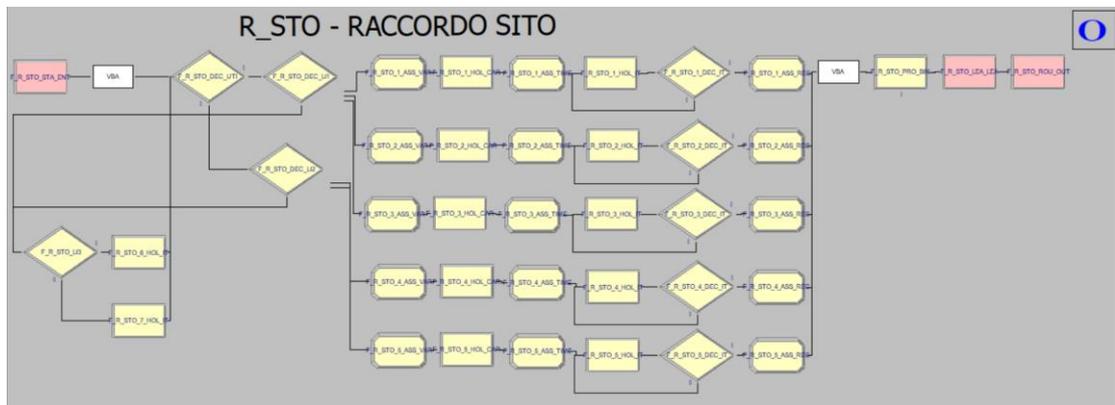


Figura 106: Schermata di un blocco Arena "Raccordo terminal"

### 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 deve 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, nel caso di AFA trascorre sempre un intervallo di 1-2 giorni tra il carico/scarico dell'UTI tra tir e treno, è improbabile che la problematica descritta possa verificarsi. 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, il quale 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 destinazione del tir in esame si trova in uno dei binari operativi del terminal: in caso positivo un modulo Route indirizza l'entità verso il blocco operazioni terminal. Altrimenti il tir attenderà presso un modulo Hold, che ha il compito di simulare un'area di sosta. Dopo aver effettuato le operazioni di carico nell'apposito blocco, l'entità tir è ricondotta verso il blocco circolazione stradale, per poi attraversare un modulo Process, nel quale si esercitano le operazioni di gate in uscita.

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

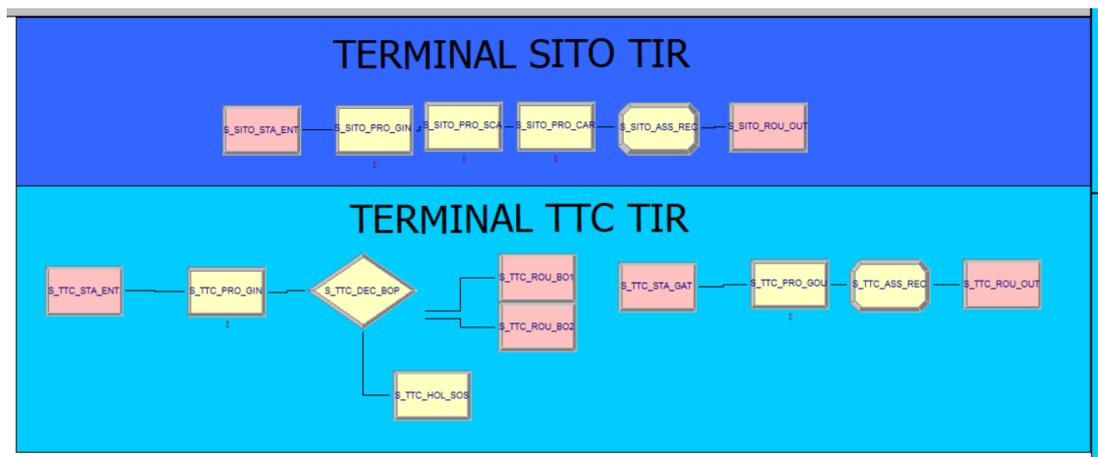


Figura 107: Schermata di due blocchi Arena "Circolazione stradale"

### 10.3.8 Blocchi operazioni terminal

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

Un primo modulo Create genera un'entità "token" all'istante 0 della simulazione, essa sosterrà presso un modulo Hold fino a quando un treno non si troverà sul binario operativo.

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 Separate genera tante copie dell'entità quante sono le UTI da scaricare dal treno. Un modulo Process effettua l'operazione di scarico per ognuna delle UTI, le risorse assegnate a questo modulo rappresentano i mezzi di movimentazione dei diversi terminal: reach stacker, trattori, carrelli con forche a sbalzo. Un modulo Assign aggiorna il numero di UTI presenti nel piazzale del terminal e infine un modulo 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 ed 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 si riferiscono ad un intero carro.

Dopo lo scarico delle UTI dal treno vengono differenziati due casi:

- Nel primo caso il "token" viene nuovamente 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, 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 Process effettua il caricamento dell'UTI sul tir, un modulo Assign aggiorna il numero di UTI presenti nel piazzale del terminal e un modulo 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.

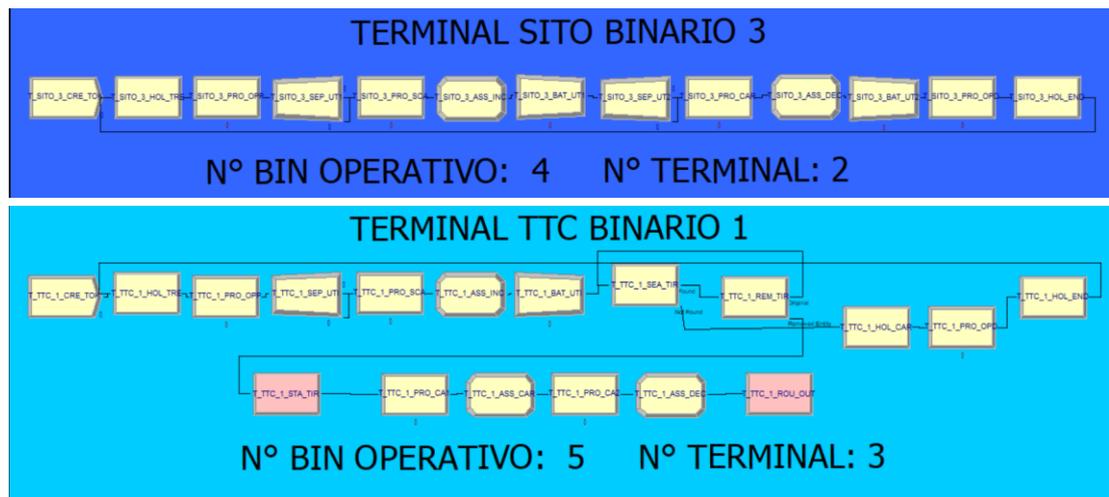


Figura 108: Schermata di due blocchi Arena "Operazione terminal"

### 10.3.9 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:
  - o ID treno
  - o Giorno entrata
  - o Orario entrata programmato
  - o Orario entrata effettivo
  - o Scostamento entrata
  - o Giorno uscita
  - o Orario uscita programmato
  - o Orario uscita effettivo
  - o Scostamento uscita
  - o ID nodo obiettivo
  - o Tipologia di treno
  - o Tempo operazioni terminal
  
- Le statistiche relative ai diversi terminal:
  - o ID terminal
  - o Numero treni serviti

- Numero tir serviti
  - Numero medio di UTI nel piazzale
  - Tempo medio di operazioni 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.

#### **10.3.10 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.

Nella prima parte vengono elencate le diverse procedure relative alle fasi della simulazione o ai moduli VBA presenti nel modello:

- **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 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**, si tratta della 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. Al suo interno 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 richiamate in diversi parti del programma:

- Funzioni di **Get**, esse restituiscono il valore di parametri come: attributi, variabili, statistiche e sequenze. Come argomento si adotta il nome del parametro.
- Procedure di **Set**, modificano il valore dei parametri elencati nelle funzioni di Get; come argomento si adotta il nome del parametro e il nuovo valore da assegnare.
- Funzione **GetNextStation**, restituisce l'ID della prossima Station all'interno della sequenza dell'entità corrente. I moduli Route indirizzano le entità verso questa Station, sia che si tratti di un nodo che di un arco ferroviario.
- Funzione **GetNextNodo**, differisce dalla precedente in quanto restituisce 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. Si incrementa IndexItinerario ed il valore corrispondente in SeqItinerari viene salvato nell'attributo Itinerario. Questo ultimo attributo viene utilizzato nei blocchi di Arena per il controllo.
- Procedure **BloccaItinerario** e **SbloccaItinerario**, leggono l'attributo Itinerario dell'entità, verificano le compatibilità all'interno della matrice mitinerari e procedono aggiornando i valori della matrice Itinerari in Arena, ovvero la matrice che fornisce il "via libera" o il "via impedita" alle entità. Dopodiché vengono aggiornati i valori dei nodi successivi ed 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 è stato 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 ed infine sono stati aggiunti i blocchi per le operazioni dei terminal e della 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).

### ANIMAZIONE CIRCOLAZIONE FERROVIARIA

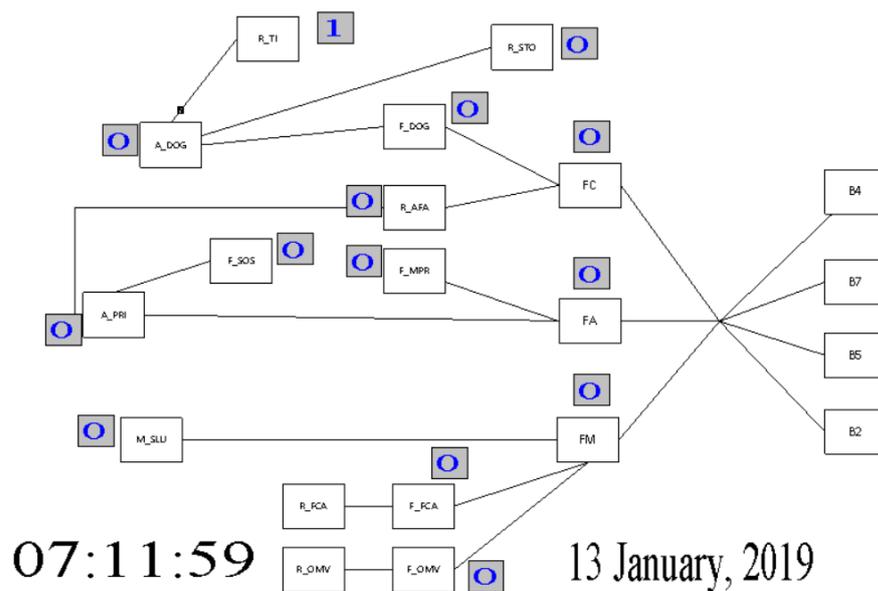


Figura 109: Schermata ricavata durante la simulazione del riquadro “Animazione circolazione ferroviaria”

(2020)

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

### MATRICE ITINERARI E BLOCCHI "ARCHI"

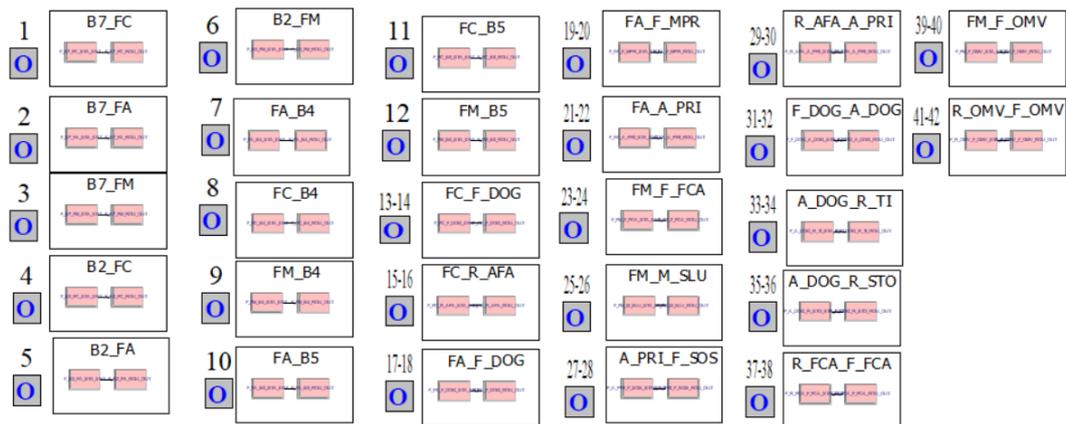


Figura 110: Schermata dei blocchi Arena "Arco ferroviario"

La validazione dei risultati relativi agli orari di arrivo e di partenza effettivi deriva da un confronto tra i valori reali, riportati nei report "Prospetto Stazione" e quelli generati all'interno del modello.

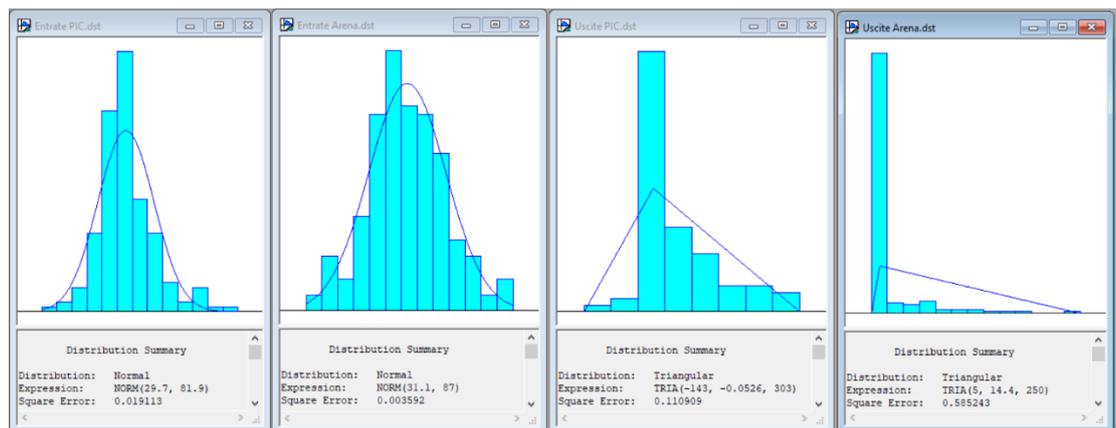


Figura 111: Schermate del tool Input Analyzer di Arena relative agli scostamenti tra entrate ed uscite programmate/effettive. In ordine da sinistra: Entrate PIC, Entrate Arena, Uscite PIC, Uscite Arena

Mettendo a confronto gli scostamenti per i treni in entrata, risulta evidente che 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.
- **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.
- **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 inoltre i collegamenti tra la nuova linea e gli impianti esistenti, infine verrà creato un nuovo terminal gateway, servito da gru a portale, per soddisfare i nuovi flussi di trasporto merci.

### **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 riportato nel sesto capitolo di questo elaborato

Lo scenario 2030 impone scelte differenti: l'elevato numero di treni presenti nel sistema nella singola giornata rende particolarmente complessa dal punto di vista computazionale la simulazione di un'intera settimana. Per questo motivo il nuovo orizzonte temporale è stato limitato ad una singola giornata.

### 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  $n$  necessarie 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, dalle quali sono stati ottenuti i valori dei parametri riportati in Tabella 31.

Assumendo un valore del parametro  $c$  pari a 10, analiticamente si ottiene un valore di  $n$  pari a 16.39, dunque approssimando all'eccesso verranno effettuate 17 repliche.

N REPLICHE	T SERVIZIO TERMINAL GAT
1	131
2	136
3	101,11
4	129,33
5	111,55
6	155
7	129,66
8	134,66
9	121,77
10	121,77
Media	127,18
Varianza	212,81

Tabella 31: Tempi di servizio del terminal gateway in una simulazione pilota (2030)

#### 10.5.4 Analisi del transitorio

All'inizio della simulazione non sono presenti entità treni all'interno del modello, ciò 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 la 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) ed i risultati tengono conto esclusivamente del successivo intervallo Lunedì-Domenica.

### 10.6 Analisi dei risultati

#### 10.6.1 Scenario 2020 (Fase 0)

SCENARIO 2020 (una settimana)					
Terminal	Treni serviti	Tir serviti	N_UTI medio	t med scar treni (min)	t med scar tir (min)
AFA	25	500	50,9	54,6	5
SITO	5	100	52,6	497,8	140,1
TTC	5	100	50,7	108,7	33,8
T.ITA	6	120	50,6	112	30,4
DB	9	180	53,8	439,6	350,3

Tabella 32: Output della simulazione (Scenario 2020)

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	1
R_STO	7	0,3	2
R_TI	10	0,4	3
FA	19	4,8	14
FC	1	0,1	1

Tabella 33: Output della simulazione (Scenario 2020)

I risultati dello scenario 2020 riescono a ben rappresentare la situazione attuale all'interno della piattaforma logistica di Torino-Orbassano: i terminal riescono a gestire i treni a loro destinati e i rispettivi mezzi stradali, mentre 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 13 binari occupati su 19 disponibili) ed 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 è rappresentato dal Fascio Container, attraverso il quale transitano tutti i treni destinati: al Fascio Dogana, al terminal AFA, a Terminal Italia ed a 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 (una settimana)					
Terminal	Treni serviti	Tir serviti	N_UTI medio	t med scar treni (min)	t med scar tir (min)
AFA e AFA2	50	500	51,7	58,7	5
SITO	5	100	52,1	515,9	132,4
TTC	5	100	50,5	111	29,3
T.ITA	6	120	50,4	104,3	32,7
DB	9	180	52,9	439,9	299,1

Tabella 34: Output della simulazione (Scenario 2022)

All'interno dello scenario 2022 le principali aggiunte hanno riguardato 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 simile a quello del binario già esistente.

Ai treni dello scenario 2020, dunque sono stati aggiunti: quelli destinati al secondo binario Modalohr, 4-5 coppie al giorno ed i diretti alla linea SFM5.

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

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	1
R_STO	7	0,2	2
R_TI	10	0,3	3
FA	19	3,8	14
FC	1	0	1
FM	2	0,3	2
R_AFA2	1	0,1	1
M_SLU	2	0,2	2

Tabella 35: Output della simulazione (Scenario 2022)

### 10.6.3 Scenario 2030 (Fase 2)

SCENARIO 2030 (un giorno)							
Terminal	Treni serviti	Tir serviti	N_UTI medio	t med scar treni (min)	t med scar tir (min)	N_ tir in coda	Max tir terminal
AFA	3	105	52,1	78,6	5	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
T.ITA	3	105	54,4	106,3	40,8	2,3	35
DB	2	70	58,7	492,9	286,7	11,3	35
GATEWAY	9	180	59,8	124,7	31,6	3,9	41

Tabella 36: Output della simulazione (Scenario 2030)

Lo scenario 2030 comporta consistenti modifiche in termini di: circolazione ferroviaria, flussi di traffico e la realizzazione di nuove infrastrutture. Come risultato degli studi descritti nel sesto capitolo 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 ad esso 9 treni ogni giorno, il valore limite è di 12 treni, in quanto sono presenti 4 binari operativi con 2 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 2 ore, con una media delle 17 repliche pari a 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, tale valore è riconducibile al fatto che si è considerata

anche una distribuzione rappresentante i ritardi degli arrivi dei treni. Nel caso di ritardo del treno alcuni tir raggiungeranno i terminal ed attenderanno il loro turno nel parcheggio, per poi muoversi verso i binari operativi. E' buona pratica distribuire l'arrivo dei tir in orari differenti, in caso di ritardi dei treni.

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

Nome fascio	N_Binari	Media_B_O	Massimo_B_O
R_AFA	2	0,3	2
F_DOG	8	1	3
A_DOG	1	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	1
FM	2	0,2	2
R_AFA2	1	0	0
M_SLU	2	0,5	2
R_GAT	7	0,8	3
F_OMV	1	0,2	1

Tabella 37: Output della simulazione (Scenario 2030)

Per i diversi terminal è stato raccolto il dato relativo al numero massimo di tir presenti all'interno dell'area. Questo valore è pari al numero di stalli occupati sommato al numero di tir situati 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 nello scenario di progetto al 2022 l'area di parcheggio non raggiungerà il livello di saturazione.

Il terminal gateway al 2030 presenta picchi di 41 tir al giorno in attesa negli stalli, tale valore sale ad 82 nel caso di guasto ad una gru. Il parcheggio

progettato all'interno del terminale conta 86 stalli e quindi è in grado di assorbire l'elevato numero di veicoli in attesa, nel caso in cui ci sia 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 ed il collegamento tra il Fascio Arrivi e il terminal gateway. Essendo un fascio di binari tronco, esso 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. La simulazione mostra che una gru a portale riuscirebbe a servire 9 coppie di treni, tuttavia si creerebbero code imponenti lato strada, con in media 25 tir in coda e tempi di carico/scarico compresi tra i 31 ed i 200 minuti.

SCENARIO 2030 (un giorno) con gru a portale ferma							
Terminal	Treni serviti	Tir serviti	N_UTI medio	t med scar treni (min)	t med scar tir (min)	N_ tir in coda	Max tir terminal
AFA	3	105	52,1	78,9	5	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
T.ITA	3	105	54,4	106,6	40,5	2,3	35
DB	2	70	58,6	491,3	285,6	11,3	35
GATEWAY	9	180	79,1	166,8	200,9	24,3	82

Tabella 38: Output della simulazione (Scenario 2030 con fermo gru a portale)

## 11. Conclusioni

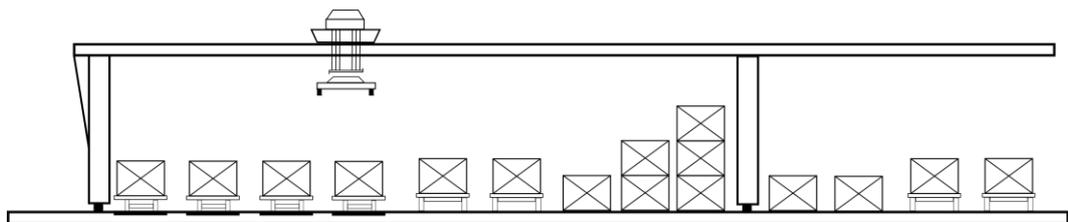
Dall'analisi della piattaforma logistica di Torino-Orbassano, svolta in questo elaborato, sono emerse sia le criticità che le possibilità di crescita della stessa. La realizzazione della nuova linea Torino-Lione ed il raggiungimento della piena operatività del porto di Vado Ligure rappresentano una grande 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 trasporto 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 ospiterà al suo interno 4 binari operativi attrezzati con 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 una gru a portale in serie, motivabile dai treni più lunghi (700-750 metri), 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.

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. Il tempo di servizio medio è pari a 31.6 minuti con una coda media di 3.9 tir, in attesa nel terminal.



*Figura 112: Schematizzazione terminal gateway progettato*

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 il terminal si troverebbe ad affrontare in media code composte da 24.3 tir. 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 di 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 inoltre che il fascio binari più utilizzato sarà il Fascio Arrivi, tuttavia 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 interni alla 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 poiché pratica esclusivamente trasporto combinato strada-rotaia. A pieno regime si prospetta che i due binari operativi accoglieranno 2000 tir a settimana. Ipotizzando che gli arrivi siano concentrati su 5 giorni lavorativi a settimana, scelta questa molto cautelativa e sfruttando un efficace sistema di prenotazioni, mediamente si avranno 17 tir che ogni ora percorreranno il raccordo in direzione entrante. Ad essi vanno aggiunte 6 automobili all'ora dirette verso gli uffici dell'AFA, valore ipotizzato e probabilmente sovrastimato. In totale, quindi, si ottiene un flusso 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 permetterebbe di evitare l'arrivo e l'uscita dei tir dal terminal AFA e dal terminal gateway in concomitanza degli orari di punta della tangenziale, al fine scongiurare congestioni della stessa.

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.

## **Allegati**

Si allega l'elaborato grafico "TAVOLA 1", esso contiene la planimetria di progetto in scala 1:2000 della piattaforma logistica di Torino-Orbassano.

## **Bibliografia**

- [1] Dalla Chiara B., (2018), *Sistemi di trasporto ferroviari, metropolitani e a fune*, Dispense del corso, Politecnico di Torino, Torino
- [2] Policicchio F., (2008), *Lineamenti di infrastrutture ferroviarie*, Firenze University Press, Firenze.
- [3] Amato V., Galeota Lanza G, (2018), *Gigantismo navale e nuove rotte commerciali*, Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia, Vol. 164 pp. 4-15
- [4] Dalla Chiara B., (2017), *Tecnica ed Economia dei Trasporti*, Dispense del corso, Politecnico di Torino, Torino
- [5] Dalla Chiara B., (2015), *Sistemi di trasporto intermodali*, egaf, Forlì
- [6] Balistreri P., (2019), *Stati Generali della Logistica del Nord-Ovest*, Presentazione, Milano
- [7] Osservatorio per l'asse ferroviario Torino-Lione, (2018), *Quaderno 10 - Verifica del modello di esercizio per la tratta nazionale lato Italia fase 1 – 2030 e definizione degli accessi al tunnel di base del Moncenisio. Scenari di traffico, verifiche di capacità, programmazione degli interventi*, Squillari Arti Grafiche, Torino
- [8] Commissione europea, (2009), *Pacchetto per il clima e l'energia 2020*, Direttiva 2009/29/CE
- [9] Commissione europea, (2014), *Quadro per le politiche dell'energia e del clima per il periodo dal 2020 al 2030*
- [10] Commissione europea, (2018), *Strategia a lungo termine per il 2050*
- [11] Direzione generale della Mobilità e dei trasporti, (2011), *Libro bianco sui trasporti*
- [12] Osservatorio per l'asse ferroviario Torino-Lione, (2019), *Quaderno 15 - TRANSIZIONE ECOLOGICA DEL SISTEMA DEI TRASPORTI. IL CONTRIBUTO DELLA FERROVIA E DELLA NUOVA LINEA TORINO-LIONE*
- [13] Dalla Chiara B., (2018), *Allegato E. Scenari di sviluppo delle tecnologie. Per gli archi e i nodi della rete ferroviaria*, Quaderno 10 - Verifica del modello di esercizio per la tratta nazionale lato Italia fase 1 – 2030 e definizione degli accessi al tunnel di base del Moncenisio. Scenari di traffico, verifiche di capacità, programmazione degli interventi, pp. 309-311
- [14] Osservatorio per l'asse ferroviario Torino-Lione, (2007), *Quaderno 1 - Linea Storica Tratta di valico*, System Graphic Srl, Roma
- [15] Osservatorio asse ferroviario Torino-Lione, (2018), *Quaderno 11 - Contributi Tecnici per una corretta valutazione economica degli interventi di adeguamento della linea ferroviaria Torino Lione*
- [16] ECR Italy, (2014), *Trasporto ferroviario merci, Documento tecnico*, Indicor-Ecr, Milano

- [17] Di Lernia F., (2019), *Principi di funzionamento della piattaforma Modalohr*, informazioni raccolte in sede di sopralluogo, Orbassano
- [18] Marigo D., (2019), *Prestazioni e dati tecnici della piattaforma SITO*, informazioni raccolte in sede di sopralluogo, Orbassano
- [19] Baccelli O., (2019), *Stati Generali della Logistica del Nord-Ovest*, Presentazione, Milano
- [20] RFI, 2017, *FASE II: Studio per la valorizzazione del sistema logistico dell'area Nord Ovest del Paese*, Monza
- [21] Dipartimento dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI), (2019), *Analisi del sistema ferroviario piemontese. Capacità della rete in relazione ai flussi di traffico attuali e futuri*, Politecnico di Torino, Torino
- [22] Signorini P. E., (2019), *Stati Generali della Logistica del Nord-Ovest*, Presentazione, Milano
- [23] Dalla Chiara B., Marigo D., Benzo G., (2002), *Interporti e terminali intermodali*, HOEPLI, Milano
- [24] Alfieri A., (2018), *Simulazione dei sistemi gestionali*, Dispense del corso, Politecnico di Torino, Torino
- [25] Coviello N., (2019), *Sistemi di trasporto e logistica esterna*, Dispense del corso, Politecnico di Torino, Torino

## **Sitografia**

[sito 1] Terminali intermodali gestiti da RFI/TI (Consultato: 13/02/2020)

<http://www.terminaliitalia.it/>

[sito 2] Terminali intermodali gestiti da HUPAC (Consultato: 13/02/2020)

<https://www.hupac.com/>

[sito 3] Terminal intermodale di Melzo (Consultato: 13/02/2020)

<http://www.portolab.it/content/centro-intermodale-di-melzo>

[sito 4] Terminale intermodale di Mortara (Consultato: 13/02/2020)

<http://www.terminalmortara.it/ita/>

[sito 5] Terminale intermodale di Nola (Consultato: 13/02/2020)

<https://www.terminalintermodalenola.it/>

[sito 6] Terminali intermodali di Novara (Consultato: 13/02/2020)

<http://www.eurogateway.it/>

[sito 7] Terminale intermodale di Padova (Consultato: 13/02/2020)

<http://www.interportopd.it/infrastrutture/>

[sito 8] Terminale intermodale di Pescara (Consultato: 13/02/2020)

<http://www.interportoabruzzo.it/>

[sito 9] Terminale intermodale di Rivalta Scrivia (Consultato: 13/02/2020)

<https://www.rivalenterterminal.com/>

[sito 10] Terminale intermodale di Trento (Consultato: 13/02/2020)

<https://www.interbrennero.it/site/ibsite/interporto-di-trento/>

[sito 11] Definizione reti TEN-T (Consultato: 8/11/2019)

<http://www.mit.gov.it>

[sito 12] Corridoio Scandinavo Mediterraneo (Consultato: 8/11/2019)

<http://www.rfi.it>

[sito 13] Caratteristiche principali linea Torino-Lione (Consultato: 8/11/2019)

<https://www.fsitaliane.it/>

[sito 14] Convenzione delle Alpi (Consultato: 7/12/2019)

<https://www.alpconv.org>

[sito 15] Portale OCR (Consultato: 26/02/2020)

<https://www.hupac.com/>

[sito 16] Caratteristiche San Gottardo (Consultato: 26/02/2020)

<https://www.ferrovie.info/index.php/it/>

[sito 17] Caratteristiche piattaforma logistica di Torino-Orbassano (Consultato: 11/11/2019)

<http://www.intermodale24-rail.net/>

[sito 18] CAAT (Consultato: 11/11/2019)

<http://www.caat.it/>

[sito 19] Termovalorizzatore (Consultato: 11/11/2019)

<https://www.irenambiente.it/>



## Ringraziamenti

*Con la consegna di questo elaborato si conclude il mio percorso universitario. E' stata un'avventura intensa, difficile da descrivere. Il Politecnico mi ha permesso di conoscere una realtà diversa da quella dove sono cresciuto e la lontananza dagli affetti mi ha consentito di crescere sia come studente che come uomo.*

*Vorrei dedicare un ringraziamento particolare al Prof. Ing. Dalla Chiara, il quale mi ha seguito in questi mesi e mi ha dato l'opportunità di interfacciarmi per la prima volta con realtà importanti del settore dei trasporti.*

*Ringrazio l'ing. Coviello, sempre presente quando ho avuto bisogno dei suoi consigli e del suo aiuto.*

*Desidero ringraziare, inoltre, RFI nelle figure dell'Ing. Quattrococo, dell'Ing. Bassani e dell'Ing. Cargnino per il tempo dedicatomi e per il materiale messo a mia disposizione. Parimenti i miei ringraziamenti vanno ad AFA, SITO ed al CAAT nelle rispettive figure dell'Ing. Di Lernia, del Dott. Marigo e del Dott. Cavaglià.*

*Non posso esimermi dal ringraziare i colleghi che mi hanno accompagnato in questo cammino, con i quali ho condiviso momenti di grande impegno, che non dimenticherò mai.*

*Infine ringrazio la mia famiglia, gli amici di sempre e Miriana, voi siete le fondamenta su cui è stato costruito questo percorso.*