

POLITECNICO DI MILANO

Scuola di Ingegneria Civile, Ambientale e Territoriale

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

Infrastrutture di Trasporto



**SVILUPPO STRATEGICO DEL SISTEMA  
FERROVIARIO DI MILANO**

Relatore: Prof. Roberto Maja

Correlatori: Ing. Emmanuele Vaghi

Ing. Silvia Vizia

Tesi di laurea di:

Marco Sala

Matricola 897056

Anno Accademico 2018/2019



*Alla mia famiglia*



# Ringraziamenti

Giunto alla fine del mio percorso accademico presso il Politecnico di Milano, desidero ringraziare di cuore tutte le persone che hanno reso possibile la stesura di questa Tesi. Desidero ringraziare il Professor Roberto Maja per aver suscitato in me un grande interesse per il settore ferroviario e per avermi guidato in una rigorosa ed efficace stesura dell'elaborato. Un ringraziamento particolare va all'Ingegnere Vaghi per avermi proposto una così importante ed interessante tematica e che con grande esperienza mi ha aiutato a strutturare la Tesi attraverso preziosi consigli. Lo ringrazio, inoltre, per essere stato il mio punto di riferimento durante i sei mesi di tirocinio che ho svolto presso la Direzione Commerciale di Rete Ferroviaria Italiana. Ringrazio di cuore l'Ingegnere Silvia Vizia per avermi indirizzato nelle scelte durante lo svolgimento delle implementazioni numeriche e per l'accuratissima revisione che ha fatto al mio lavoro.

Un sentito ringraziamento va all'Ingegnere Rosa Frignola per aver reso possibile la mia permanenza nell'Azienda e per avermi affidato l'analisi di una tematica così delicata. Ringrazio il responsabile di Sviluppo Rete e Servizi Massimiliano Toti per avermi spiegato i dettagli più sottili che stanno dietro agli impianti e per aver sempre accompagnato la consegna di un mio lavoro con un semplice ma importante "grazie". Ringrazio gli altri colleghi della Direzione Commerciale, Alessandro, Nicolò, Antonio, Filippo, Renato, Cristina, Barbara, Francesca, Erica, Santino e Fabio per avermi sopportato in questo periodo e per essere sempre stati affettuosi durante la mia convalescenza.

Ringrazio di cuore i compagni e amici universitari "milanesi", Chiara, Claudia, Giacomo, Gianmaria e Mert per il gradevole tempo passato insieme.

Ringrazio sentitamente gli amici di Firenze Filippo, Alessandro, Alessia, Niccolò e Giacomo per il caloroso affetto che mi danno tutte le volte che torno a casa e per il forte sostegno che hanno rappresentato durante i più duri momenti di quest'estate. Un caloroso abbraccio va anche ai miei coinquilini attuali ed ex Giulio, Domenico, Michele, Vincenzo e Riccardo per avermi fatto sentire a casa qui a Milano e per avermi rallegrato anche le più cupe serate.

Infine, il ringraziamento più grande lo devo alla mia famiglia. Grazie ad i miei genitori Michele e Teresa per l'indelebile modello di vita che mi hanno trasmesso. Grazie ai miei fratelli Andrea e Francesco e affini, Arianna ed Emily, per la complicità che ci lega e che ci accompagnerà.

Grazie a tutti Voi.

# Sintesi

Il presente elaborato di Tesi ha come scopo lo sviluppo strategico e lo studio capacitivo del sistema ferroviario di Milano, secondo orizzonti temporali successivi, corrispondenti alle fasi di attivazione di una nuova infrastruttura, il Secondo Passante di Milano. Si dimostrerà che la nuova infrastruttura risulta necessaria per rendere stabile e sostenibile la circolazione ferroviaria nel Nodo di Milano, anche in virtù delle esigenze di incremento del traffico Regionale e di Lunga Percorrenza. La complessità dell'opera suggerisce la sua realizzazione in cinque distinte fasi, caratterizzate da rilasci infrastrutturali e conseguenti modifiche al modello di esercizio. Le fasi sono accorpabili in due macro-categorie; le fasi iniziali, che comprendono il tratto strettamente urbano della nuova infrastruttura, e le fasi successive, che riguardano i potenziamenti in ingresso al Nodo sulle direttrici Milano – Bologna e Milano – Venezia. L'analisi capacitiva degli scenari è preceduta da una ricerca metodologica che ha suggerito l'impiego di metodi di tipo analitico per lo sviluppo delle considerazioni numeriche. In particolare, si è sviluppato un modello analitico derivato dal metodo di compattazione proposto dall'UIC in Fiche 405 e 406, che è stato applicato a tutti gli scenari proposti. Le evidenze numeriche ottenute valutano positivamente gli scenari relativi alle attivazioni contenute nell'area urbana della nuova infrastruttura. I risultati del modello, riferiti alle fasi successive, confermano l'indispensabilità del potenziamento infrastrutturale della direttrice Milano – Bologna, al fine del possibile incremento dell'offerta di trasporto verso Roma, mentre dimostrano che l'ultima fase prevista, riguardante la direttrice Milano – Venezia, comporta benefici molto contenuti in relazione alla complessità dell'opera, tali da non giustificarne il compimento.

*Parole chiave:*

Circolazione ferroviaria

Capacità

Modello di esercizio

Metodo di compattazione delle tracce

Passante Ferroviario





# Abstract

This Thesis is aimed at both the strategic development and the capacitive study of the Milan railway network. The analysis has been carried out by considering multiples future targets which correspond to the different activation phases of a new rail link: The Second Milan Railway Corridor. This new infrastructure is essential to make the railway operation along the Milano Node more stable and sustainable but also in virtue of the necessities dictated by the increase of short, medium and long-haul trains. The complexity of the work requires five distinct realization phases; each characterized by infrastructural releases and changes to the operating model. The three initial phases are those involving the urban segment of the new track, while the last two phases consist in the upgrades of the incoming lines in the Milan Node of the Milan – Bologna track and Milan – Venice track respectively. The capacitive analysis of the scenarios is preceded by a literature review of the railway models for capacity. In the following, due to the literature evidences, an analytical method directly derived by the Compression Method was implemented, according to the UIC Code Fiche 405 and 406. The proposed method was applied to all the scenarios. As numerical evidences, the first three phases of the new infrastructure are positively evaluated, like the upgrading of the Milan – Bologna track which seems a strategical step needed to be done, according to the possible strengthening of the transport supply to Rome. In conclusion, the infrastructural upgrading of the Milan – Venice track involves very limited benefits and, on the other hand, a heavy complexity of the project. For that reason, the fulfilment of the last phase of the new Railway Corridor, it is not justified.

*Keywords:*

Railway

Capacity

Operating Model

Compression Method

Railway Corridor



---

# Indice dei contenuti

<b>SVILUPPO STRATEGICO DEL SISTEMA FERROVIARIO DI MILANO .....</b>	<b>I</b>
<b>RINGRAZIAMENTI .....</b>	<b>I</b>
<b>SINTESI.....</b>	<b>III</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>V</b>
<b>INDICE DEI CONTENUTI .....</b>	<b>VII</b>
<b>INDICE DELLE FIGURE.....</b>	<b>XI</b>
<b>INDICE DELLE TABELLE .....</b>	<b>XV</b>
<b>1 INTRODUZIONE .....</b>	<b>1</b>
<b>2 DOCUMENTI PROPEDEUTICI ALL'ANALISI E SOGGETTI COINVOLTI .....</b>	<b>5</b>
2.1 PROGRAMMA REGIONALE MOBILITÀ E TRASPORTI.....	6
2.2 ACCORDO "DEI CASTELLI".....	7
2.3 CONTRATTO DI PROGRAMMA.....	8
2.4 PIANO COMMERCIALE DI RETE FERROVIARIA ITALIANA.....	9
2.5 PROSPETTO INFORMATIVO RETE .....	11
2.6 ACCORDO QUADRO PER I SERVIZI DI TRASPORTO PUBBLICO LOCALE.....	12
2.7 ACCORDI QUADRO PER L'INFRASTRUTTURA AV/AC .....	14
<b>3 LA RETE FERROVIARIA DI REGIONE LOMBARDIA .....</b>	<b>15</b>
3.1 CONFIGURAZIONE DI BASE (SCENARIO 2021).....	15
3.1.1 <i>Caratteristiche del Nodo ferroviario di Milano</i> .....	33
3.2 CONFIGURAZIONE DI RETE AL 2026 .....	37
3.3 CONFIGURAZIONE DI RETE OLTRE 2026 .....	41
<b>4 MODELLI DI OFFERTA ATTUALI E DI PROSPETTIVA.....</b>	<b>45</b>

4.1	MODELLO DI OFFERTA VIAGGIATORI ATTUALE .....	45
4.1.1	<i>Lunga Percorrenza</i> .....	47
4.1.2	<i>Servizio Ferroviario Regionale</i> .....	49
4.2	MODELLO DI OFFERTA MERCI ATTUALE .....	54
4.3	MODELLO DI ESERCIZIO DEL NODO DI MILANO .....	55
4.4	SVILUPPI DEL MODELLO DI OFFERTA.....	60
4.4.1	<i>Sviluppi del modello di offerta previsti al 2026</i> .....	61
4.4.2	<i>Sviluppi del modello di offerta previsti nello scenario “oltre 2026”</i> .....	64
<b>5</b>	<b>GENESI DEL TRACCIATO FERROVIARIO DEL PASSANTE AV DI MILANO .....</b>	<b>67</b>
5.1	PARAMETRI INFRASTRUTTURALI.....	68
5.1.1	<i>Elementi plano-altimetrici</i> .....	68
5.1.2	<i>Attrezzaggio tecnologico</i> .....	70
5.2	ATTIVAZIONI INFRASTRUTTURALI INIZIALI .....	70
5.2.1	<i>Fase 1</i> .....	70
5.2.2	<i>Fase 2</i> .....	73
5.2.3	<i>Fase 3</i> .....	75
5.3	ATTIVAZIONI INFRASTRUTTURALI SUCCESSIVE .....	77
5.3.1	<i>Fase 4</i> .....	78
5.3.2	<i>Fase 5</i> .....	80
<b>6</b>	<b>METODI DI VALUTAZIONE CAPACITIVA DELLE LINEE E DEGLI IMPIANTI .....</b>	<b>85</b>
6.1	CALCOLO CAPACITÀ DELLE LINEE.....	89
6.1.1	<i>Metodi deterministici</i> .....	92
6.1.2	<i>Metodi probabilistici</i> .....	96
6.1.3	<i>Metodi di simulazione</i> .....	99
6.1.4	<i>Confronto tra le metodologie di valutazione capacitiva delle linee</i> .....	101
6.2	CALCOLO DELLA CAPACITÀ DEI NODI.....	102
6.2.1	<i>Metodi sintetici combinatori e probabilistici</i> .....	104
6.2.2	<i>Metodi analitico descrittivi</i> .....	109
6.2.3	<i>Metodi di saturazione</i> .....	110
6.2.4	<i>Metodi di simulazione</i> .....	111
<b>7</b>	<b>METODOLOGIA IMPIEGATE PER LE VALUTAZIONI CAPACITIVE DELLA RETE E DEGLI IMPIANTI.....</b>	<b>113</b>
7.1	PARAMETRI DI INGRESSO DEL MODELLO.....	113

---

7.1.1	<i>Parametri di ingresso per i tratti omogenei della rete</i> .....	114
7.1.2	<i>Parametri di ingresso per le relazioni</i> .....	115
7.2	APPLICAZIONE DEL METODO ANALITICO AI TRATTI OMOGENEI DI RETE .....	116
7.2.1	<i>Metodo analitico per linee a doppio binario</i> .....	116
7.2.2	<i>Metodo analitico per le linee a semplice binario</i> .....	118
7.3	APPLICAZIONE ANALITICO PER LA VALUTAZIONE DELLE INTERFERENZE TRA I FLUSSI 119	
7.4	CONCLUSIONI ESPLICATIVE SUL METODO ANALITICO .....	120
7.4.1	<i>Matrici di incidenza</i> .....	120
7.4.2	<i>Considerazioni numeriche sul grado di utilizzazione</i> .....	121
<b>8</b>	<b>APPLICAZIONE DEL METODO ANALITICO: SCENARI PRECEDENTI AL PASSANTE AV</b> .....	<b>123</b>
8.1	SCENARIO BASE.....	124
8.2	SCENARIO FUTURO 2026.....	130
8.3	SCENARIO FUTURO OLTRE 2026 .....	136
<b>9</b>	<b>APPLICAZIONE DEL METODO ANALITICO: FASI INIZIALI DEL PASSANTE AV</b> .....	<b>143</b>
9.1	SCENARIO FASE 1 .....	144
9.1.1	<i>Parametri del modello Scenario Fase 1</i> .....	145
9.1.2	<i>Risultati Scenario Fase 1</i> .....	146
9.2	SCENARIO FASE 1 – 1° POTENZIAMENTO.....	149
9.2.1	<i>Risultati Scenario Fase 1 POT</i> .....	153
9.3	SCENARIO FASE 2.....	154
9.3.1	<i>Parametri del modello Scenario Fase 2</i> .....	155
9.3.2	<i>Risultati Scenario Fase 2</i> .....	156
9.4	SCENARIO FASE 2 – 2° POTENZIAMENTO.....	159
9.4.1	<i>Risultati Scenario Fase 2 POT</i> .....	159
9.5	SCENARIO FASE 3.....	160
9.5.1	<i>Parametri del modello Scenario Fase 3</i> .....	161
9.5.2	<i>Risultati Scenario Fase 3</i> .....	162
9.6	SCENARIO FASE 3 – 3° POTENZIAMENTO.....	169
9.6.1	<i>Risultati Scenario Fase 3 POT</i> .....	170
<b>10</b>	<b>APPLICAZIONE DEL METODO ANALITICO: FASI SUCCESSIVE DEL PASSANTE AV</b> .....	<b>175</b>
10.1	SCENARIO FASE 4 .....	175

---

10.1.1	<i>Parametri del modello Scenario Fase 4</i> .....	176
10.1.2	<i>Risultati Scenario Fase 4</i> .....	177
10.2	SCENARIO FASE 4 – 4° POTENZIAMENTO.....	181
10.2.1	<i>Risultati Scenario Fase 4 POT</i> .....	181
10.3	SCENARIO FASE 5.....	185
10.3.1	<i>Parametri del modello Scenario Fase 5</i> .....	185
10.3.2	<i>Risultati Scenario Fase 5</i> .....	186
<b>11</b>	<b>CONCLUSIONI</b> .....	<b>191</b>
	<b>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI</b> .....	<b>195</b>
	<b>APPENDICE A ELENCO DELLE SIGLE</b> .....	<b>199</b>
	<b>APPENDICE B CARATTERISTICHE DELLE RELAZIONI</b> .....	<b>201</b>
	<b>APPENDICE C CARATTERISTICHE DEI TRATTI OMOGENEI DI RETE E DEI NODI</b> .....	<b>205</b>
	<b>APPENDICE D UTILIZZAZIONE DELLE TRATTE E DEI NODI ELEMENTARI NEGLI SCENARI BASE 2021 E FUTURO OLTRE 2026</b> .....	<b>217</b>

---

## Indice delle figure

Figura 1 - Rappresentazione schematica della rete ferroviaria di Regione Lombardia	16
Figura 2 - Rappresentazione della rete ferroviaria nazionale nella Regione Lombardia	17
Figura 3 - Rappresentazione dei regimi di circolazione delle linee della Regione Lombardia e zone limitrofe previsti per l'anno 2021	19
Figura 4 - Rappresentazione dei sistemi di esercizio delle linee della Regione Lombardia e zone limitrofe previsti per l'anno 2021	21
Figura 5 - Rappresentazione della sagoma limite ammessa sulle linee della Regione Lombardia e zone limitrofe prevista per l'anno 2021	23
Figura 6 - Rappresentazione della massa assiale ammessa sulle linee della Regione Lombardia e zone limitrofe prevista per l'anno 2021	25
Figura 7 - Rappresentazione dei moduli di linea nella Regione Lombardia e zone limitrofe previsti per l'anno 2021	27
Figura 8 - Rappresentazione dei sistemi di trazione nella Regione Lombardia e zone limitrofe previsti per l'anno 2021	29
Figura 9 - Rappresentazione degli apparati centrali degli impianti presenti nella regione Lombardia e zone limitrofe previsti per l'anno 2021	31
Figura 10 - Nodo ferroviario di Milano	34
Figura 11 - Configurazione della rete del Nodo allargato di Milano in uno scenario oltre 2026	43
Figura 12 - Mappa schematica dei servizi S previsti con l'orario 2021	53
Figura 13 - Mappa del Servizio Ferroviario Regionale nel Nodo allargato di Milano	54
Figura 14 - Principali direttrici e linee del Nodo di Milano; mappa semplificata	60
Figura 15 - Modifiche del modello di offerta previste entro l'anno 2026 rispetto al modello di offerta dello scenario di partenza (orario 2021)	64
Figura 16 - Modifiche del modello di offerta previste oltre l'anno 2026 rispetto al modello di offerta dello scenario 2026	66
Figura 17 - Ripristino di Bivio Taverna per l'ingresso nel Passante AV dalla linea Bologna	70

Figura 18 - Attivazioni infrastrutturali di fase 1	71
Figura 19 - Schema funzionale relativo alla variante della Fase 1	72
Figura 20 - Rappresentazione schematica della stazione Milano Centrale AV	73
Figura 21 - Attivazioni infrastrutturali di Fase 2	74
Figura 22 - Rappresentazione schematica della stazione di Milano Porta Garibaldi AV	75
Figura 23 - Attivazioni infrastrutturali di Fase 3	75
Figura 24 - Bivio Fiorenza, variante A	76
Figura 25 - Bivio Fiorenza, variante B	76
Figura 26 - Attivazioni infrastrutturali delle fasi iniziali del Passante AV	77
Figura 27 - Bivio Ortica, rappresentazione schematica, in rosso la Fase 4	78
Figura 28 - Rappresentazione schematica della stazione AV di Milano Linate Aeroporto	79
Figura 29 - Rappresentazione schematica dell'interconnessione di Tavazzano	79
Figura 30 - Attivazioni infrastrutturali di Fase 4	80
Figura 31 - Rappresentazione schematica dell'interconnessione tra l'AV Milano - Brescia e Bivio Casirate	81
Figura 32 - Rappresentazione schematica delle attivazioni infrastrutturali di Fase 5	81
Figura 33 - Visione complessiva delle attivazioni del Passante AV di Milano	83
Figura 34 - Modello di deflusso Velocità – Flusso: Fonte [29]	86
Figura 35 - Correlazione tra capacità teorica, capacità pratica e regolarità	90
Figura 36 - Metodo di compattazione Fonte: [27]	94
Figura 37 - Rappresentazione grafica dei risultati dell'analisi numerica applicata allo scenario base 2021	127
Figura 38 - Rappresentazione grafica dei risultati dell'analisi numerica applicata allo scenario futuro 2026	133
Figura 39 - Rappresentazione grafica dei risultati dell'analisi numerica applicata allo scenario futuro oltre 2026	139
Figura 40 - Rappresentazione grafica dei risultati dell'analisi numerica applicata allo Scenario Fase 1	147
Figura 41 - Rappresentazione grafica dei risultati dell'analisi numerica applicata allo Scenario Fase 1 1° Potenziamento	151
Figura 42 - Rappresentazione grafica dei risultati dell'analisi numerica applicata allo Scenario Fase 2	157
Figura 43 - Rappresentazione grafica dei risultati dell'analisi numerica applicata allo Scenario Fase 3	167
Figura 44 - Rappresentazione grafica dei risultati dell'analisi numerica applicata allo Scenario Fase 3 POT	173



---

Figura 45 - Rappresentazione grafica dei risultati dell'analisi numerica applicata allo Scenario Fase 4	179
Figura 46 - Rappresentazione grafica dei risultati dell'analisi numerica applicata allo Scenario Fase 4 POT	183
Figura 47 - Rappresentazione grafica dei risultati dell'analisi numerica applicata allo Scenario Fase 5	189



---

## Indice delle tabelle

Tabella 1 - Caratteristiche della rete in concessione a FERROVIENORD S.p.A. Tutti i valori sono espressi in chilometri [km]	16
Tabella 2 - Caratteristiche degli impianti in concessione a FERROVIENORD S.p.A.	17
Tabella 3 - Classificazione della linea della rete di RFI in funzione del sistema di alimentazione	18
Tabella 4 - Caratteristiche tecnologiche di protezione della marcia dei treni sulla rete RFI	18
Tabella 5 - Modello d'offerta dei servizi ad Alta Velocità previsto per l'orario 2021 in Regione Lombardia	47
Tabella 6 - Modello d'offerta dei servizi EC previsti per l'orario 2021 in Regione Lombardia	48
Tabella 7 - Modello d'offerta dei servizi IC previsto per l'orario 2021 in Regione Lombardia	48
Tabella 8 - Modello di offerta RV/RE previsto per l'orario 2021 in Regione Lombardia	49
Tabella 9 - Relazioni RE non operanti sulla rete RFI	50
Tabella 10 - Modello di offerta R previsto per l'orario 2021 sulla rete RFI di Regione Lombardia	51
Tabella 11 - Relazioni R non operanti sulla rete RFI in Regione Lombardia	51
Tabella 12 - Modello di offerta dei servizi S operanti sulla rete RFI	52
Tabella 13 - Servizi S non operanti sulla rete RFI	52
Tabella 14 - Modello di offerta attuale del servizio merci in Regione Lombardia e zone limitrofe	55
Tabella 15 - Modifiche del modello di offerta dovute all'intervento 1 previste nello scenario 2026	62
Tabella 16 - Modifiche del modello di offerta dovute all'intervento 5 previste nello scenario 2026	63
Tabella 17 - Modifiche del modello di offerta dovute all'intervento 1 previste nello scenario oltre 2026	65

Tabella 18 - Modifiche del modello di offerta dovute all'intervento 2 previste nello scenario oltre 2026	65
Tabella 19 - Modifiche del modello di offerta dovute all'intervento 3 previste nello scenario oltre 2026	65
Tabella 20 - Valori dei coefficienti riduttivi K e K1	93
Tabella 21 - Grado di utilizzazione degli archi di rete per segmenti a doppio binario	118
Tabella 22 - Grado di utilizzazione degli archi di rete per segmenti a semplice binario	119
Tabella 23 - Grado di utilizzazione per i nodi elementari	120
Tabella 24 - Utilizzazione delle tratte critiche nello scenario base 2021	125
Tabella 25 - Utilizzazione dei nodi critici nello scenario base 2021	125
Tabella 26 - Utilizzazione delle tratte critiche nello scenario futuro 2026	131
Tabella 27 - Utilizzazione dei nodi critici nello scenario futuro 2026	131
Tabella 28 - Utilizzazione delle tratte critiche nello scenario futuro oltre 2026	137
Tabella 29 - Utilizzazione dei nodi critici nello scenario futuro oltre 2026	137
Tabella 30 - Modello di offerta LP per lo Scenario di Fase 1	145
Tabella 31 - Grado di utilizzazione delle tratte che subiscono variazioni rispetto allo scenario futuro oltre 2026	146
Tabella 32 - Grado di utilizzazione dei nodi che subiscono variazioni rispetto allo scenario futuro oltre 2026	146
Tabella 33 - Tratte che subiscono modifiche al grado di utilizzazione rispetto allo Scenario Fase 1	153
Tabella 34 - Nodi che subiscono modifiche al grado di utilizzazione rispetto allo Scenario Fase 1	154
Tabella 35 - Modello di esercizio LP per lo Scenario Fase 2	155
Tabella 36 - Tratte che subiscono modifiche al grado di utilizzazione rispetto allo Scenario Fase 2	159
Tabella 37 - Nodi che subiscono modifiche al grado di utilizzazione rispetto allo Scenario Fase 2	160
Tabella 38 - Modifiche al modello di offerta previste nello Scenario Fase 3	161
Tabella 39 - Modello di offerta LP per lo Scenario Fase 3	162
Tabella 40 - Tratte che subiscono modifiche al grado di utilizzazione rispetto allo Scenario Fase 2 POT	163
Tabella 41 - Nodi che subiscono modifiche al grado di utilizzazione rispetto allo Scenario Fase 2 POT	164
Tabella 42 - Tratte che subiscono modifiche al grado di utilizzazione rispetto allo Scenario Fase 3	170

---

Tabella 43 - Nodi che subiscono modifiche al grado di utilizzazione rispetto allo Scenario Fase 3	171
Tabella 44 - Modifiche al modello di offerta previste nello Scenario Fase 4	176
Tabella 45 - Modello di offerta LP per lo Scenario Fase 4	177
Tabella 46 - Tratte che subiscono modifiche al grado di utilizzazione rispetto allo Scenario Fase 3 POT	177
Tabella 47 - Tratte che subiscono modifiche al grado di utilizzazione rispetto allo Scenario Fase 4	182
Tabella 48 - Nodi che subiscono modifiche al grado di utilizzazione rispetto allo Scenario Fase 4	182
Tabella 49 - Modello di offerta LP per lo Scenario Fase 5	186
Tabella 50 - Tratte che subiscono modifiche al grado di utilizzazione rispetto allo Scenario Fase 4 POT	187
Tabella 51 - Nodi che subiscono modifiche al grado di utilizzazione rispetto allo Scenario Fase 4 POT	187
Tabella 52 - Caratteristiche delle relazioni considerate ai fini dell'analisi capacitiva e relative allo scenario base 2021	201
Tabella 53 - Tempi di percorrenza delle tratte dello scenario base 2021, valore espressi in minuti	205
Tabella 54 - Specifiche di distanziamento delle tratte dello scenario base 2021	210
Tabella 55 - Grado di utilizzazione delle tratte relativo agli scenari base 2021 e futuro oltre 2026, valori espressi in percentuale [%]	217
Tabella 56 - Grado di utilizzazione dei nodi elementari relativo agli scenari base 2021 e futuro oltre 2026	223



---

# 1

## Introduzione

Il presente elaborato di Tesi ha come scopo lo sviluppo strategico e lo studio capacitivo, secondo orizzonti temporali successivi, dell'infrastruttura ferroviaria del Nodo di Milano. L'analisi parte dallo studio dell'attuale modello di esercizio di Regione Lombardia, con particolare attenzione al Nodo di Milano. Riferendosi al trasporto passeggeri, è possibile individuare tre tipologie distinte di servizi: i servizi di Lunga Percorrenza (LP), i servizi Regionali (RV, RE, R) ed i servizi Suburbani (S), che rappresentano l'offerta di trasporto rispettivamente sul lungo, medio e breve raggio. Le categorie di servizio di medio-lungo percorso, quasi nella totalità dei casi della realtà del Nodo di Milano, attestano nell'impianto di Milano Centrale, mentre i servizi di tipo S fanno capo alla stazione di Milano Porta Garibaldi, con ridotta possibilità di interscambio dei servizi operanti sul breve raggio con tutti gli altri.

Le principali criticità osservate nello scenario attuale possono essere ricondotte all'elevato grado di saturazione dei segmenti di linea del Nodo di Milano, effetto anche della promiscuità dei tre livelli di servizio in alcune tratte della rete, all'insufficienza del numero di binari della stazione di Milano Centrale, notoriamente in condizioni di incipiente saturazione, la cui analisi capacitiva è la base di partenza della presente Tesi, nonché alle numerose interferenze tra itinerari negli impianti, a discapito della regolarità del servizio, soprattutto nelle ore di punta.

In aggiunta, occorre considerare le richieste di sviluppo e potenziamento del trasporto passeggeri per il medio-lungo periodo, in particolare:

- aumento dei volumi di traffico, con riferimento al completamento del modello di esercizio dei servizi Suburbani, all'aumento della frequenza dei servizi di medio raggio e ad un incremento dei servizi a mercato;

- 
- maggiore integrazione, mediante l'individuazione di impianti nei quali far coesistere il maggior numero di relazioni possibili, meglio ancora se appartenenti a diverse categorie di servizio, in modo da rendere efficace l'intercambio tra le stesse;
  - maggiore stabilità, con conseguente riduzione delle interferenze e dei sovraccarichi degli impianti.

Alla luce di quanto detto, è evidente che per far fronte alle nuove necessità del modello di offerta, traguadato verso scenari futuri, migliorando, o comunque non aggravando, il grado di saturazione della rete rispetto alla situazione attuale, occorre necessariamente trovare soluzioni alternative di passaggio attraverso il Nodo di Milano, cioè prevedere la realizzazione di una nuova infrastruttura.

Poiché le relazioni di tipo Suburbano, nella realtà di Milano, hanno già un'infrastruttura dedicata, ovvero il Passante Ferroviario, mentre le relazioni di medio raggio si prestano bene per l'attestamento in città secondo una configurazione di tipo radiale rispetto alla stazione di Milano Centrale, i servizi RV, RE o R non si prestano bene ad una modifica del loro modello di esercizio. Al contrario, le relazioni di Lunga Percorrenza, con particolare riguardo alle relazioni AV, risultano un ottimo candidato da assegnare ad una nuova infrastruttura che le svincoli dalla rete tradizionale, aumentando la regolarità globale della circolazione e, nell'ottica di renderle passanti, consentendo come valore aggiunto la velocizzazione delle stesse e portando anche benefici anche alle altre categorie di servizio.

Per queste ragioni si è scelto di dedicare una nuova infrastruttura alle relazioni di Lunga Percorrenza. Tale opera, per la sua conformazione, sarà denominata "Passante AV di Milano".

La complessità del problema rende necessaria un'articolazione per fasi successive di attivazione infrastrutturale, attraverso le quali considerare in esercizio le diverse tratte del Passante, fino al suo completamento. Si evidenzia che tale infrastruttura è ideata per rispondere a tre diverse esigenze:

- rappresentare un collegamento "passante" per i servizi AV, in modo da evitare inutili perditempo di ribattuta nell'impianto di Milano Centrale, a discapito della capacità d'impianto;
- permettere di attuare potenziamenti dell'offerta di trasporto per tutte le categorie di servizio;
- consentire un agevole interscambio tra tutti i livelli di servizio prevedendo il transito dall'impianto di Milano Centrale, dove attestano i servizi RV/RE e R, e di Milano Porta Garibaldi, punto cardine dei servizi Suburbani.



Risulta evidente che le attivazioni infrastrutturali alla base della nuova infrastruttura siano implementate nell'ottica di un potenziamento del modello di esercizio e non a giustificazione di un eccessivo grado di saturazione degli elementi della rete. Tuttavia, la decongestione di alcune tratte, ad oggi critiche, è beneficio indiretto della realizzazione del Passante AV di Milano, che porta ad una riduzione dei carichi di traffico su alcuni elementi delicati, consentendo una diversa riorganizzazione dei flussi in tratte sulle quali non è ad oggi presente un'adeguata flessibilità del modello di esercizio.

La giustificazione quantitativa delle scelte operate deriva dall'analisi capacitiva della rete e degli impianti secondo diversi scenari, ognuno dei quali rappresenta una specifica configurazione di rete attuale o futura. La metodologia impiegata nell'analisi capacitiva influenza la bontà dei risultati ottenuti e, conseguentemente, l'indirizzamento delle scelte al progredire degli scenari di attivazione infrastrutturale. Per questo motivo è stata effettuata una ricerca metodologica, basata sulla letteratura tecnica dello stato dell'arte, su alcuni libri di testo, nonché su casi studio il cui contributo fosse rilevante al fine delle scelte effettuate nel presente elaborato.

La metodologia di tipo analitico scelta prevede l'applicazione di un modello perfezionato a partire dal metodo di compattazione proposto dall'UIC in Fiche 405 e 406. Al fine di avere un'indicazione di carattere numerico sul grado di utilizzazione degli elementi della rete, tale metodologia sarà applicata inizialmente agli scenari rappresentanti le configurazioni relative agli anni 2021, 2026 ed oltre, per poi studiare le fasi di attivazione infrastrutturale. Il potenziamento dei servizi sarà dedotto nel corso dell'attivazione delle fasi in relazione all'evoluzione delle proprietà capacitive della rete ferroviaria.

Volendo riassumere l'articolazione di questo elaborato di Tesi, si propone la struttura logica che ha guidato le scelte effettuate:

- identificazione del modello di esercizio attuale;
- presa visione delle criticità attuali della rete;
- prospetto delle esigenze future sulla configurazione di rete prevista nel lungo termine;
- definizione delle fasi del Passante AV, coerentemente alla necessità di nuovi percorsi;
- ricerca metodologica dello stato dell'arte e definizione del modello numerico da applicare al caso in oggetto;
- analisi degli scenari precedenti al Passante AV, traggurati agli anni 2021, 2026 ed oltre 2026;

- 
- analisi degli scenari relativi alle fasi iniziali del Passante AV: Fase 1, Fase 2 Fase 3;
  - analisi degli scenari relativi alle fasi successive del Passante AV: Fase 4 e Fase 5.

## **Documenti propedeutici all'analisi e soggetti coinvolti**

In questo capitolo verranno presentati i ruoli dei soggetti coinvolti nel presente studio, nonché i principali documenti programmatici inerenti allo sviluppo dei traffici ferroviari insistenti sul Nodo di Milano.

In Italia, in ottemperanza alla direttiva europea CEE n.440 del 1991, che impose la separazione contabile tra il gestore della rete ferroviaria e il gestore dei servizi di trasporto, fu costituita nel 2001 Rete Ferroviaria Italiana (RFI), società del Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane (FSI), che si occupa della gestione dell'Infrastruttura Ferroviaria Nazionale (IFN). La missione di RFI è definita quindi nell'Atto di Concessione siglato tra Ferrovie dello Stato e Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (MIT).

In Lombardia, inoltre, opera la società FERROVIENORD (Gruppo FNM), in qualità di Gestore dell'Infrastruttura ferroviaria regionale, per un totale di 331 chilometri di linea. RFI garantisce l'accesso all'Infrastruttura Ferroviaria Nazionale a condizioni eque e non discriminatorie a tutte le Imprese Ferroviarie titolari di licenza.

Le principali Imprese Ferroviarie che operano sulla rete sono: Trenitalia, specializzata nel servizio viaggiatori, e Mercitalia, che si occupa delle attività merci, facenti entrambe parte del gruppo FSI; Trenord, dedicata al trasporto pubblico ferroviario sulle linee della Regione Lombardia; Italo – Nuovo Trasporto Viaggiatori (NTV), società privata che opera nel campo del trasporto ferroviario ad alta velocità.

Al Gestore dell'Infrastruttura spettano i seguenti compiti [60]:

- la gestione della circolazione ferroviaria;

- 
- l'assegnazione della capacità ferroviaria secondo principi di equità e non discriminazione;
  - la gestione della sicurezza della circolazione;
  - il mantenimento in efficienza dell'Infrastruttura Ferroviaria Nazionale;
  - la progettazione ed esecuzione di interventi di potenziamento dell'infrastruttura ferroviaria.

I rapporti che intercorrono invece tra le Imprese Ferroviarie e i soggetti richiedenti capacità ferroviaria sono invece regolati dal Contratto di Servizio, quando il servizio è sovvenzionato, altrimenti dal Contratto di Trasporto.

Il contratto di utilizzo dell'infrastruttura ferroviaria è l'atto in base al quale è concesso, a ciascuna IF, l'accesso all'IFN ed il suo utilizzo, in termini di tracce orarie e di servizi. Le IF ed i soggetti richiedenti possono, inoltre, sottoscrivere con il GI gli Accordi Quadro (AQ), allo scopo di garantirsi capacità pluriennale, come si vedrà nel dettaglio in seguito.

## **2.1 Programma Regionale Mobilità e Trasporti**

Il Programma Regionale della Mobilità e dei Trasporti (PRMT) di Regione Lombardia, approvato con Delibera del Consiglio Regionale n.1.245 del 20 settembre 2016, è stato redatto ai sensi della Legge Regionale 6/2012 allo scopo di configurare:

*“il sistema delle relazioni di mobilità, sulla base dei relativi dati di domanda e offerta, confrontandolo con l'assetto delle infrastrutture esistenti e individuando le connesse esigenze di programmazione integrata delle reti infrastrutturali e dei servizi di trasporto” [43].*

Questo documento, a seguito di un rilevante lavoro di analisi della domanda di mobilità, propone scelte infrastrutturali mirate, funzionali al potenziamento della programmazione integrata di tutti i servizi. L'arco temporale che caratterizza questo programma è il breve-medio periodo; tale scelta permette al PRMT di divenire uno strumento di lavoro dinamico, pensato per essere aggiornato con orizzonte temporale di circa cinque anni.

La caratteristica principale del documento risulta essere l'approccio integrato al tema dei trasporti e delle relazioni esistenti tra mobilità e territorio e tra ambiente e sistema ecologico, con due differenti tipologie di obiettivi:

- obiettivi generali, che contemplano aspetti della complessa rete di relazioni intersettoriali;

- obiettivi specifici, maggiormente legati all'ambito trasportistico, che affrontano parallelamente tematiche inerenti a differenti modalità di trasporto.

Il documento si articola in tre diverse parti:

1. Quadro di riferimento e di analisi, ove si analizza il contesto di riferimento del Programma, al fine di definire gli obiettivi e le strategie.
2. Scelte del Programma, all'interno delle quali viene analizzato nello specifico il sistema della mobilità e dei trasporti.
3. Attuazione e monitoraggio del Programma, dove vengono illustrate le azioni di attuazione degli obiettivi programmatici, nonché il sistema di verifica di compimento delle stesse.

Gli obiettivi del PRMT sono principalmente:

- la riduzione della congestione stradale che interessa gli assi viari più caricati;
- il miglioramento dei servizi del trasporto collettivo;
- la promessa di una futura maggiore attenzione all'ambiente, con particolare riferimento all'inquinamento dell'aria;
- la riduzione dell'incidentalità stradale, nel rispetto delle direttive UE presenti nel Libro Bianco<sup>1</sup>.

## **2.2      Accordo “dei Castelli”**

L'Accordo dei Castelli, stipulato nel 2011, costituisce un'intesa tra il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti italiano e l'Ufficio Federale dei Trasporti svizzero (UFT). Tale documento è stato poi rinnovato nel 2018 e firmato dalle società Rete Ferroviaria Italiana e Ferrovie Federali Svizzere (FFS).

L'intesa sancisce la collaborazione tra le due società, in relazione all'apertura della Nuova Ferrovia Transalpina (NFTA) in Svizzera<sup>2</sup>, con l'obiettivo di stabilire un modello organizzativo per il monitoraggio degli investimenti e di sviluppare strategie comuni per il trasporto di passeggeri e merci, tra cui l'implementazione del sistema *European Train Control System* (ETCS) sulle linee di confine.

---

<sup>1</sup> *White Paper: European transport policy for 2010: time to decide.*

<sup>2</sup> In tale progetto rientra la galleria di base del San Gottardo e saranno inoltre previsti la galleria di base del Ceneri, sul lato svizzero, ed il Terzo Valico, sul lato italiano.

---

L'accordo si propone di incrementare l'offerta di trasporto dei passeggeri tra l'Italia e la Svizzera, al fine di garantire almeno:

- dieci coppie di treni Zurigo – Milano, con un tempo di percorrenza inferiore a tre ore per l'orario 2021, con singoli prolungamenti fino a Venezia, Bologna e Genova;
- due coppie di treni Basilea - Lucerna – Milano, con un tempo di percorrenza di circa quattro ore;
- quattro coppie di treni Basilea - Berna – Milano, con un tempo di percorrenza di circa quattro ore, nonché la possibilità di attivare un'ulteriore coppia;
- quattro coppie di treni Ginevra – Milano, con un tempo di percorrenza di poco inferiore alle quattro ore, con un prolungamento fino a Venezia.

A questo si aggiungono obiettivi di puntualità, su base settimanale, dei treni diretti nelle località svizzere, nonché l'effettuazione di treni con materiale rotabile con lunghezza fino a quattrocento metri sulla linea Milano - Chiasso.

Per quanto riguarda il traffico merci, i gestori nell'ambito dell'accordo si sono impegnati, con orizzonte temporale 2022, a:

- ridurre i tempi di sosta al confine;
- produrre un'offerta di tracce stabili, con velocità medie ottimizzate;
- garantire un'offerta di capacità definita sull'asse nord-sud e nello specifico pari a 170 treni/giorno sulla linea Chiasso e 90 treni/giorno sulla Luino;
- ridurre al minimo gli effetti delle interruzioni di circolazione accidentali del traffico internazionale.

Il termine di validità dell'intesa è stato fissato per l'anno 2026.

## **2.3 Contratto di Programma**

Il Contratto di Programma (CdP) ha per oggetto la disciplina dei rapporti tra RFI e lo Stato, per via del MIT, con particolare riguardo:

- a. *realizzazione degli investimenti per lo sviluppo dell'infrastruttura ferroviaria ai fini del miglioramento della qualità dei servizi e del rispetto di livelli di sicurezza compatibili con l'evoluzione tecnologica, ottemperando alle innovazioni introdotte dalle disposizioni normative;*
- b. *modalità di finanziamento delle suddette attività, allo scopo di individuare le risorse disponibili per il raggiungimento degli obiettivi di cui alla lettera a).*

Il CdP ha una durata complessiva di cinque anni, ma è aggiornabile e rinnovabile annualmente. Esso si compone delle seguenti parti:

- Contratto di Programma – Parte Servizi (CdP–S);
- Contratto di Programma – Parte Investimenti (CdP–I).

Il CdP–S norma il finanziamento delle attività di gestione e di manutenzione straordinaria della rete ferroviaria, al fine di garantire un adeguato livello di sicurezza e di affidabilità del sistema. Esso disciplina, inoltre, il finanziamento di altre spese relative alla gestione dell'esercizio ferroviario, con particolare riferimento agli aspetti di circolazione e di sicurezza ferroviaria.

Gli interventi di manutenzione da finanziare sono distinti in due tipologie: ordinari, se tali da contenere il degrado dell'infrastruttura entro il ciclo di vita degli elementi che la compongono, o straordinari, se volti alla sostituzione o al rinnovo di componenti che determinano l'incremento del valore patrimoniale del bene, migliorandone l'affidabilità, la produttività, l'efficienza e la sicurezza.

Il CdP–I regola e programma la sequenza di investimenti infrastrutturali sostenibili sia per l'aumento delle prestazioni di linee esistenti (anche detti interventi "leggeri") che per la realizzazione di nuove opere ferroviarie per lo sviluppo infrastrutturale e tecnologico della rete (detti interventi "pensanti").

Per la stesura della presente Tesi si è fatto riferimento al Contratto di Programma 2017 – 2021 nei suoi due atti: Parte Servizi e Parte Investimenti [34].

## **2.4 Piano Commerciale di Rete Ferroviaria Italiana**

Il Piano Commerciale di RFI è il documento nel quale si specificano le strategie di sviluppo dell'infrastruttura ferroviaria, in coerenza con quanto definito nell'ambito del Contratto di Programma con il MIT.

Il documento ha validità di almeno un quinquennio e identifica in maniera formale gli interventi all'infrastruttura previsti, con l'obiettivo di soddisfare le future esigenze in materia di mobilità, manutenzione, rinnovamento e sviluppo della rete sulla base dei finanziamenti erogabili dallo Stato.

Il Piano Commerciale riporta nello specifico tutti i progetti la cui attivazione ricade all'interno del periodo di validità dello stesso, nonché gli interventi significativi, in

---

termini di ricadute commerciali, la cui attivazione prevista è posta oltre l'orizzonte temporale di piano.

Tale documento è quindi di grande interesse per le Imprese Ferroviarie, nonché per gli Enti Locali e per gli altri soggetti che pianificano i servizi di trasporto (passeggeri e merci) anche in funzione degli sviluppi infrastrutturali previsti.

Il Piano Commerciale si compone di tre parti, una per ogni diversa categoria di mercato: Trasporto Pubblico Locale, Lungo Percorso e Merci.

La prima parte del Piano Commerciale tratta i principali interventi previsti sulla rete, suddivisi per area regionale, con impatti diretti sui sistemi regionali di trasporto.

Le azioni proposte sono definite secondo i seguenti principi:

- potenziamento dell'integrazione tra ferro e gomma;
- incremento della capacità dei nodi;
- riduzione delle principali interferenze tra i flussi;
- velocizzazione delle tratte extraurbane;
- sviluppo dei punti di interscambio all'ingresso delle aree urbane;
- miglioramento dell'accessibilità ai servizi nelle stazioni.

Nella seconda parte del documento vengono riportate le azioni previste per quanto concerne l'offerta Alta Velocità, i servizi Basic Nazionale ed Internazionale ed il servizio Universale.

Gli interventi previsti hanno lo scopo di rendere più competitivo il sistema della mobilità sulla lunga percorrenza secondo le seguenti linee guida:

- potenziamento prestazionale e sviluppo della rete Alta Velocità/Alta Capacità (AV/AC);
- velocizzazione dei tratti antenna AV;
- potenziamento delle grandi direttrici di traffico di lunga percorrenza;
- eliminazione dei vincoli infrastrutturali.

In accordo con quanto stabilito dalla Commissione Europea in materia di evoluzione e sviluppo delle reti trans-europee di trasporto<sup>3</sup> (TEN-T), Rete Ferroviaria Italiana ha in previsione l'adeguamento a specifica di circa cinquemila chilometri di rete entro l'anno 2030.

Il piano di sviluppo del trasporto merci si basa su tre concetti:

---

<sup>3</sup> Un insieme di infrastrutture lineari (ferroviarie, stradali e fluviali) e puntuali (nodi urbani, porti, interporti ed aeroporti) considerate "rilevanti" a livello comunitario.



- potenziamento delle prestazioni della rete, con riferimento ai potenziamenti infrastrutturali caratteristici del trasporto merci (sagoma, modulo e peso assiale);
- potenziamento dei principali terminali di logistica portuali e terrestri;
- potenziamento capillare dei collegamenti con i soggetti industriali.

Per la stesura del presente elaborato di Tesi è stato consultato il Piano Commerciale di Rete Ferroviaria Italiana nell'edizione luglio 2018, avente come orizzonte temporale l'anno 2026 [47].

## 2.5 Prospetto Informativo Rete

Il Prospetto Informativo Rete (PIR) è un documento, pubblicato da RFI, che si pone come obiettivo la commercializzazione della capacità dell'infrastruttura. Esso contiene tutte le informazioni necessarie ai soggetti richiedenti per accedere all'IFN, esponendo i seguenti elementi:

- caratteristiche dell'infrastruttura e condizioni di accesso alla stessa;
- principi, criteri, procedure, modalità e termini di calcolo e di riscossione in merito ai pedaggi dovuti per la fornitura di servizi da parte di RFI;
- criteri, procedure, modalità e termini di assegnazione della capacità dell'infrastruttura;
- regole per l'utilizzo della rete e dei servizi ad essa connessi.

Tipicamente il PIR si articola in sei capitoli, brevemente riassunti a seguire.

- Capitolo 1 – Informazioni generali sulle caratteristiche del documento.
- Capitolo 2 – Condizioni di accesso all'infrastruttura, esposte le modalità di accesso alla rete in accordo con la normativa nazionale vigente;
- Capitolo 3 – Caratteristiche dell'infrastruttura, riporta le proprietà principali dell'infrastruttura, al fine di una migliore pianificazione delle richieste di capacità;
- Capitolo 4 – Allocazione della capacità, descrive il processo di richiesta e di allocazione della capacità dell'infrastruttura, unitamente ai criteri di priorità e tipologia della richiesta;
- Capitolo 5 – Servizi, descrive l'elenco dei servizi facenti parte del canone di utilizzo dell'infrastruttura, nonché ulteriori servizi che richiedono il pagamento di aggiuntivi corrispettivi;

- 
- Capitolo 6 – Tariffe, esplica le regole di rendicontazione usate per il contratto di utilizzo, nonché il sistema di calcolo dei diritti connessi all'utilizzo dell'infrastruttura ferroviaria.

## **2.6 Accordo Quadro per i servizi di trasporto pubblico locale**

L'Accordo Quadro (AQ), stipulato il 22 dicembre 2016 [42] tra RFI e la Regione Lombardia, è il documento attraverso il quale il Gestore dell'Infrastruttura si impegna a garantire una porzione di capacità della rete ferroviaria per la realizzazione del servizio di trasporto pubblico locale, mentre il soggetto richiedente si impegna all'utilizzazione della stessa. La validità dell'accordo sottoscritto tra RFI e Regione Lombardia è pari a tre anni, a partire dall'orario di servizio 2017/2018.

La capacità viene espressa in funzione di alcuni parametri oggetto dell'AQ:

1. tipologia del servizio di trasporto;
2. caratteristiche dei collegamenti: relazioni, origine/destinazione e fermate;
3. caratteristiche dei treni: trazione, velocità, massa e lunghezza;
4. numero di tracce per fascia oraria, distinte per relazione, con indicazione della periodicità e della velocità commerciale di riferimento;
5. volumi complessivi, espressi in treni\*chilometro, per ciascun orario di servizio compreso nel periodo di validità dell'accordo;
6. valore economico della capacità, detto pedaggio, per ciascun orario di servizio compreso nel periodo di validità dell'accordo;
7. definizione di un sistema strutturato di servizi, caratterizzato da cadenzamento e coincidenze, in una logica di integrazione delle diverse modalità di trasporto.

L'Accordo Quadro si suddivide in sei allegati, descritti di seguito nel dettaglio.

- Allegato A: Parametri caratteristici della capacità d'infrastruttura.  
Riporta il modello di esercizio base, con riferimento al primo orario di servizio utile dalla sottoscrizione dell'accordo. Sono inoltre presenti le caratteristiche del materiale rotabile circolante, discriminato per categoria di treno e per direttrice di impiego, il dettaglio delle fermate intermedie per ciascuna relazione di traffico, le corrispondenze sui nodi di interscambio, le velocità commerciali, nonché la ripartizione della capacità per ciascuna tratta nelle varie fasce orarie.
- Allegato B: Servizi forniti da GI su richiesta delle IF (servizi oggetto di contratto tra Richiedente e IF).

Riporta i servizi garantiti dal GI che costituiscono il pacchetto di accesso, nello specifico:

- trattamento delle richieste di capacità di infrastruttura ferroviaria;
- diritto di utilizzo della capacità assegnata;
- utilizzo dell'infrastruttura ferroviaria;
- controllo e regolazione della circolazione dei treni, segnalamento ed istradamento dei convogli, nonché comunicazione di ogni informazione relativa alla circolazione;
- utilizzo del sistema di alimentazione elettrica per la corrente di trazione, ove disponibile;
- qualunque altra informazione necessaria per la realizzazione o la gestione del servizio per il quale è stata concessa la capacità.

- Allegato C: Stima dei pedaggi medi e stima dei costi dei servizi.

Contiene la stima dei pedaggi totali e medi per il primo anno di validità del documento, calcolati in fascia diurna e notturna.

- Allegato D: Linee guida per l'aggiornamento dell'Allegato A.

Questo allegato, fondamentale per le valutazioni del presente elaborato di Tesi in merito ai futuri modelli di offerta, individua le possibili variazioni dell'offerta di trasporto, legata ai potenziamenti infrastrutturali e/o tecnologici previsti sulla rete.

- Allegato E: Localizzazione di impianti e di servizi correlati alla produzione della capacità assegnata.

Elenca tutti i servizi che il Gestore dell'Infrastruttura è tenuto a fornire all'Impresa Ferroviaria affidataria del Contratto di Servizio con Regione Lombardia.

In particolare, sono identificati i seguenti servizi:

- l'accesso e l'utilizzo delle stazioni passeggeri, le strutture e gli edifici ad esse annessi;
- l'accesso e utilizzo di aree, impianti ed edifici destinati alla sosta, al ricovero e al deposito di materiale rotabile e di merci;
- l'accesso ad impianti con servizi industriali (o ad aree disponibili per l'attrezzaggio);
- gli impianti e le attrezzature di soccorso;
- le aree per l'approvvigionamento di combustibile;
- la corrente di trazione;

- 
- il preriscaldamento, la climatizzazione ed il rifornimento idrico dei treni viaggiatori;
  - i servizi di manovra;
  - l'assistenza a persone con ridotta mobilità (PRM);
  - la fornitura di impianti complementari.
- Allegato F: Velocità commerciale media di riferimento  
Riporta le velocità medie per le diverse tipologie di servizio con riferimento alle relazioni contenute nell'Allegato A, distinte nel seguente modo:
    - relazioni di tipo Suburbano (S);
    - relazioni di tipo Regionale (R);
    - relazioni di tipo Regio-Express (RE).

## **2.7 Accordi Quadro per l'infrastruttura AV/AC**

Gli Accordi Quadro per l'infrastruttura AV/AC regolano i rapporti tra il Gestore della rete e le Imprese Ferroviarie che offrono servizi di Lunga Percorrenza, utilizzando parte della rete ad Alta Velocità. Nell'ambito dei servizi Lunga Percorrenza, sono attualmente in vigore i seguenti AQ:

- Rete Ferroviaria Italiana S.p.A. e Trenitalia S.p.A., siglato il 23 aprile 2007;
- Rete Ferroviaria Italiana S.p.A. e Italo – Nuovo Trasporto Viaggiatori S.p.A., siglato il 17 gennaio 2008.

La struttura di questi documenti è la medesima esposta al paragrafo 2.6.

Per quanto concerne l'AQ stipulato tra RFI e Trenitalia, è stato recentemente sottoscritto il "*V Atto Modificativo ed Integrativo dell'Accordo Quadro per l'infrastruttura AV/AC*" [45], quale documento di aggiornamento dell'atto originariamente siglato il 23 aprile 2007. La validità di tale documento tralasciata all'anno 2033; tuttavia, tale orizzonte temporale non preclude la possibilità di modifica successiva dei contenuti, pertanto, ai fini di questo studio, risulta la base di partenza per condurre valutazioni capacitive nel periodo 2021-2026 ed oltre.

---

# 3

## La rete ferroviaria di Regione Lombardia

In questo capitolo verranno approfondite le caratteristiche infrastrutturali delle linee ferroviarie presenti in Regione Lombardia, con particolare riferimento al Nodo di Milano, sia nella configurazione attuale, sia in una configurazione di prospettiva, al termine degli interventi di *upgrade* pianificati. L'analisi ha come scopo la definizione di uno scenario di base solido e credibile sul quale analizzare gli effetti della realizzazione del Passante AV di Milano.

La configurazione infrastrutturale di partenza è quella relativa all'orario 2021, dedotta in accordo con il Piano Commerciale di RFI [47] ed il Prospetto Informativo Rete [48]. Secondo questa filosofia sono stati costruiti anche gli scenari relativi alle configurazioni infrastrutturali previste per l'anno 2026 ed oltre.

Va pertanto considerata un'aleatorietà sull'effettivo raggiungimento, nei tempi previsti, di quanto verrà esposto, tanto maggiore, quanto più l'orizzonte temporale risulterà distante; tuttavia, la complessità dell'opera oggetto dello studio richiede la necessità di traguardarsi su un orizzonte temporale sufficientemente lontano, oltre 2026.

### 3.1 Configurazione di base (Scenario 2021)

In Lombardia sono presenti oltre duemila chilometri di linee ferroviarie sulle quali si collocano 427 stazioni. L'infrastruttura è, come si è detto, concessa a due differenti società: Rete Ferroviaria Italiana S.p.A. che gestisce le linee appartenenti all'Infrastruttura Ferroviaria Nazionale e pari all'84% del totale, e FERROVIENORD S.p.A. che gestisce le linee della rete regionale, per un totale di 331 km e 125 impianti.

Nella seguente mappa si riporta una rappresentazione schematica della rete ferroviaria della Regione Lombardia.

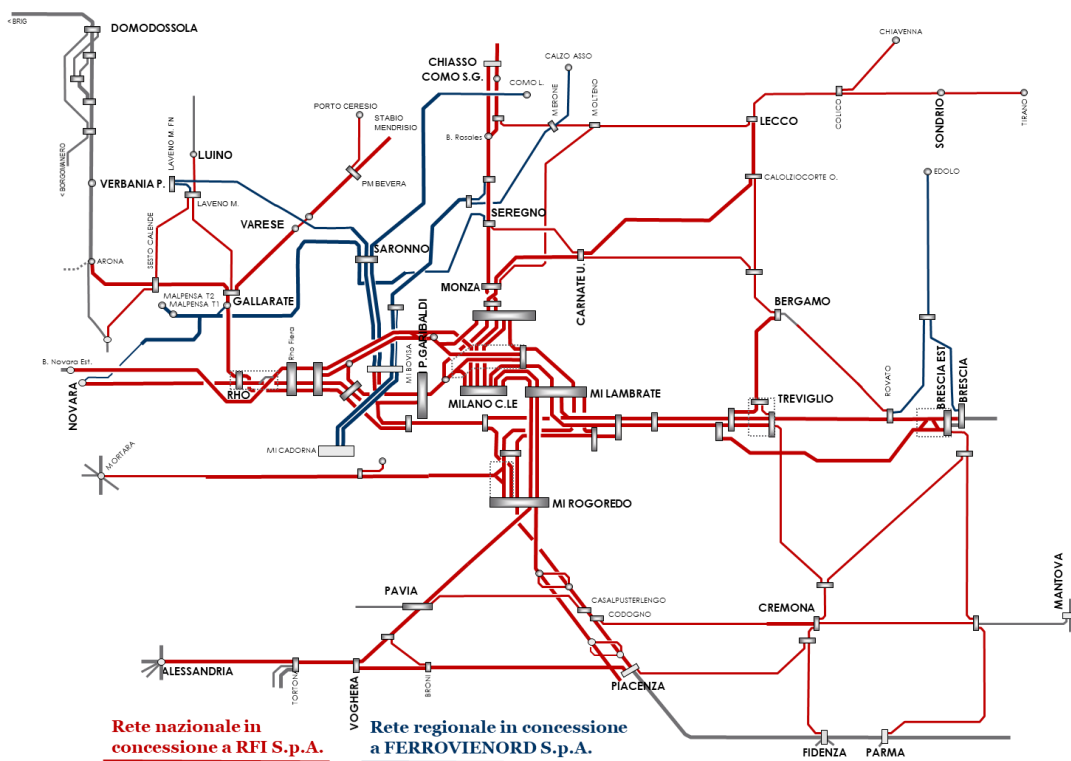


Figura 1 - Rappresentazione schematica della rete ferroviaria di Regione Lombardia

Le caratteristiche della rete e dei suoi impianti<sup>4</sup>, gestiti da FERROVIENORD, sono sinteticamente riportate nelle seguenti tabelle.

RETE	Intera Rete	Ramo Milano	Ramo Iseo
<b>Estensione rete</b>	331	223	108
<b>Rete elettrificata</b>	215	215	0
<b>Binari di circolazione</b>	533	418	115
<b>Linee a semplice binario</b>	198	90	108
<b>Linee a doppio binario</b>	110	110	0
<b>Linee a tre o più binari</b>	23	23	0
<b>Binari di parchi, depositi e terminali</b>	42	33	9
<b>Binari attrezzati con SCMT/SSC</b>	440	332	108

Tabella 1 - Caratteristiche della rete in concessione a FERROVIENORD S.p.A. Tutti i valori sono espressi in chilometri [km]

<sup>4</sup> Fonte: <https://www.ferrovienord.it/it/rete-ferrovienord>.

IMPIANTI	Intera Rete	Ramo Milano	Ramo Iseo
<b>Impianti gestiti da FN</b>	125	88	37
<b>Impianti a servizio viaggiatori</b>	115	82	33
<b>Impianti di movimento</b>	59	39	20
<b>Fermate</b>	65	48	17
<b>Depositi e officine</b>	4	3	1
<b>Interconnessioni attive con RFI</b>	4	4	0

Tabella 2 - Caratteristiche degli impianti in concessione a FERROVIENORD S.p.A.

La rete ferroviaria gestita da RFI, si compone invece di 1.740 km, con 302 stazioni dislocate sul territorio, suddivisi in 573 km della rete fondamentale, 955 km di linee complementari e 212 km di linee di nodo. La ripartizione delle linee è rappresentata nella figura seguente.

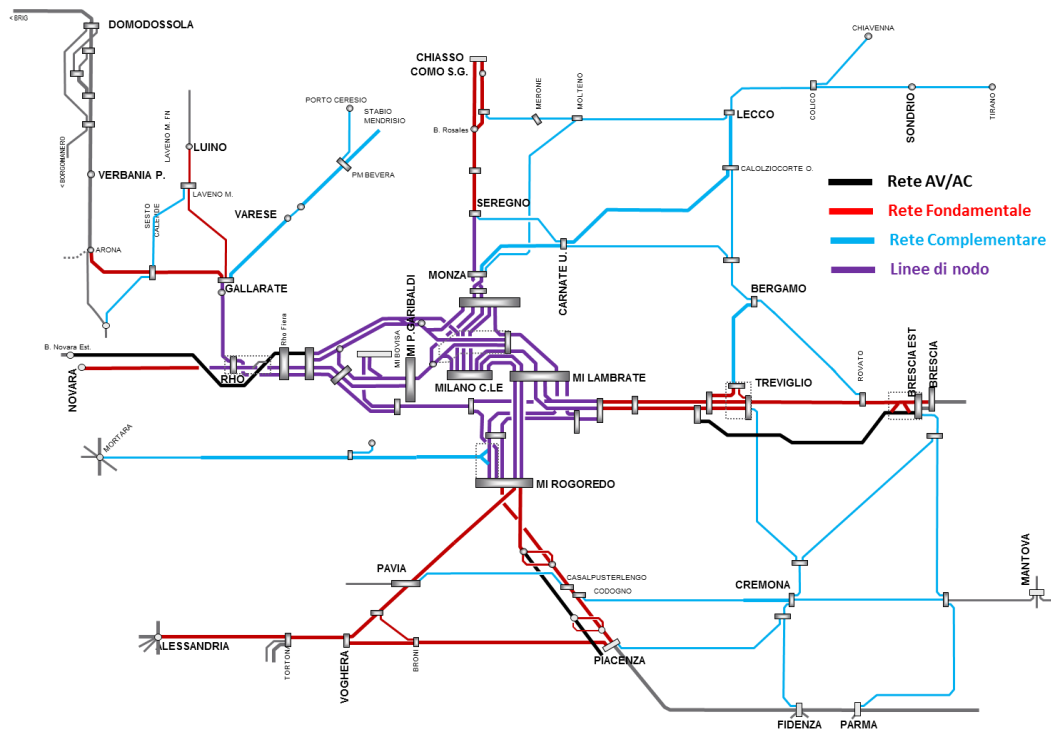


Figura 2 - Rappresentazione della rete ferroviaria nazionale nella Regione Lombardia

Della totalità dei chilometri di linea di Regione Lombardia, 859 km sono costituiti da linee a doppio binario, mentre 881 sono i chilometri di linea a semplice binario. Un'altra utile classificazione può essere introdotta considerando i diversi sistemi di alimentazione presenti sulla linea; si distinguono le seguenti situazioni.

<b>ALIMENTAZIONE</b>	
Linee elettrificate	1.457 km
di cui a doppio binario	859 km
di cui a semplice binario	598 km
Linee non elettrificate	283 km

Tabella 3 - Classificazione della linea della rete di RFI in funzione del sistema di alimentazione

Rispetto l'ammontare totale in termini di chilometri di binari, pari a circa 2.598, 2.371 km appartengono alle "linee convenzionali", mentre circa 227 km sono linee ad "Alta Velocità".

Infine, un'ultima classificazione può essere fatta in funzione della tecnologia di protezione della marcia del treno, come evidenziato nella seguente tabella:

<b>TECNOLOGIE DI PROTEZIONE MARCIA TRENO</b>	
Sistemi di telecomando della circolazione	1.164 km
SCMT, per il controllo della marcia del treno	1.413 km (di cui 39 km con doppio attrezzaggio SSC e SCMT)
SSC, per il supporto alla guida	246 km (di cui 39 km con doppio attrezzaggio SSC e SCMT)
ERTMS	148 km (di cui 39 km in sovrapposizione ai sistemi presenti)

Tabella 4 - Caratteristiche tecnologiche di protezione della marcia dei treni sulla rete RFI

A seguire saranno riportate le mappe tematiche della rete ferroviaria lombarda che evidenziano i seguenti aspetti:

- regime di circolazione (Figura 3);
- sistema di esercizio (Figura 4);
- sagoma limite (Figura 5);
- massa assiale (Figura 6);
- modulo di linea (Figura 7);
- sistema di trazione (Figura 8);
- apparati centrali (Figura 9).



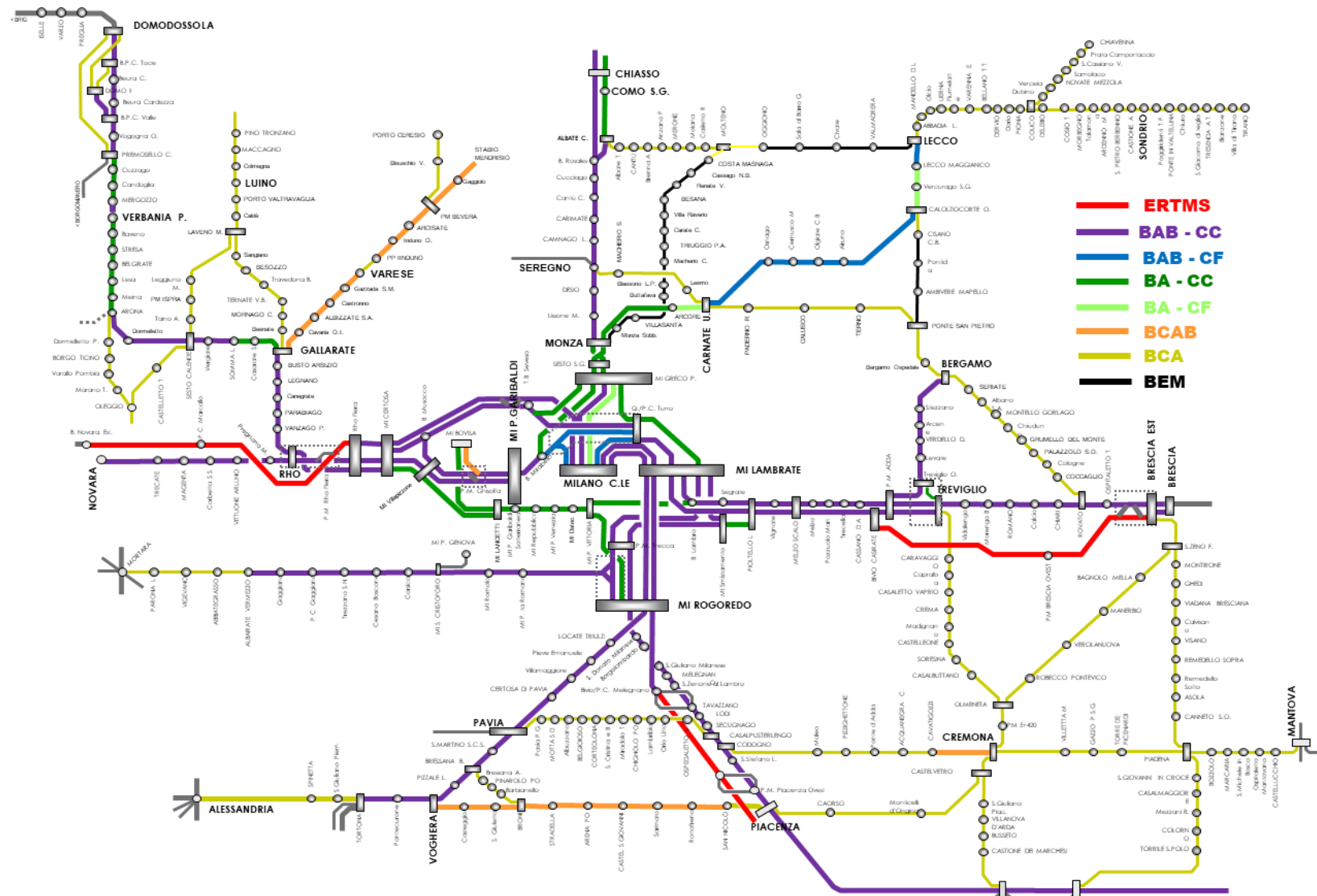


Figura 3 - Rappresentazione dei regimi di circolazione delle linee della Regione Lombardia e zone limitrofe previsti per l'anno 2021



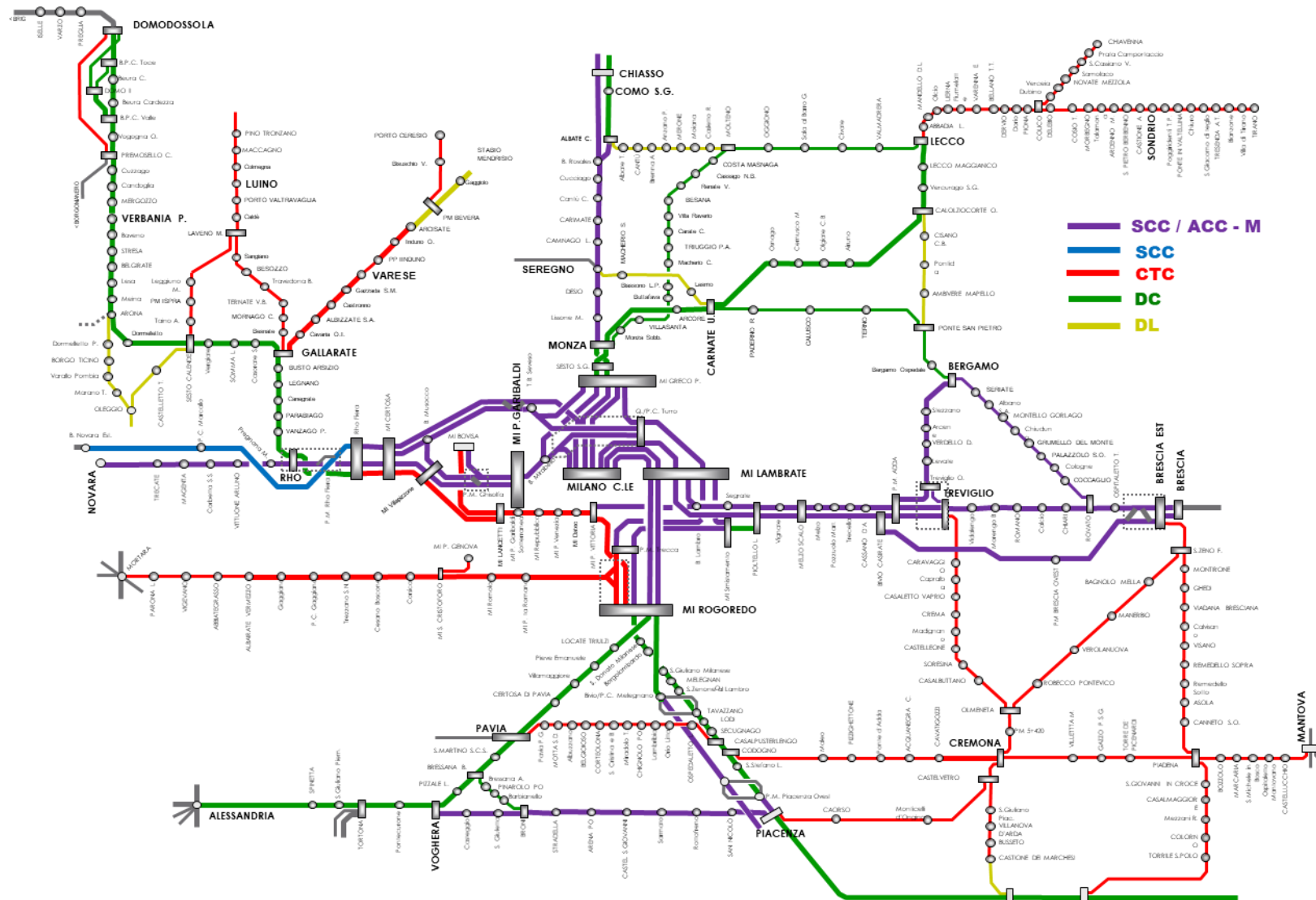


Figura 4 - Rappresentazione dei sistemi di esercizio delle linee della Regione Lombardia e zone limitrofe previsti per l'anno 2021



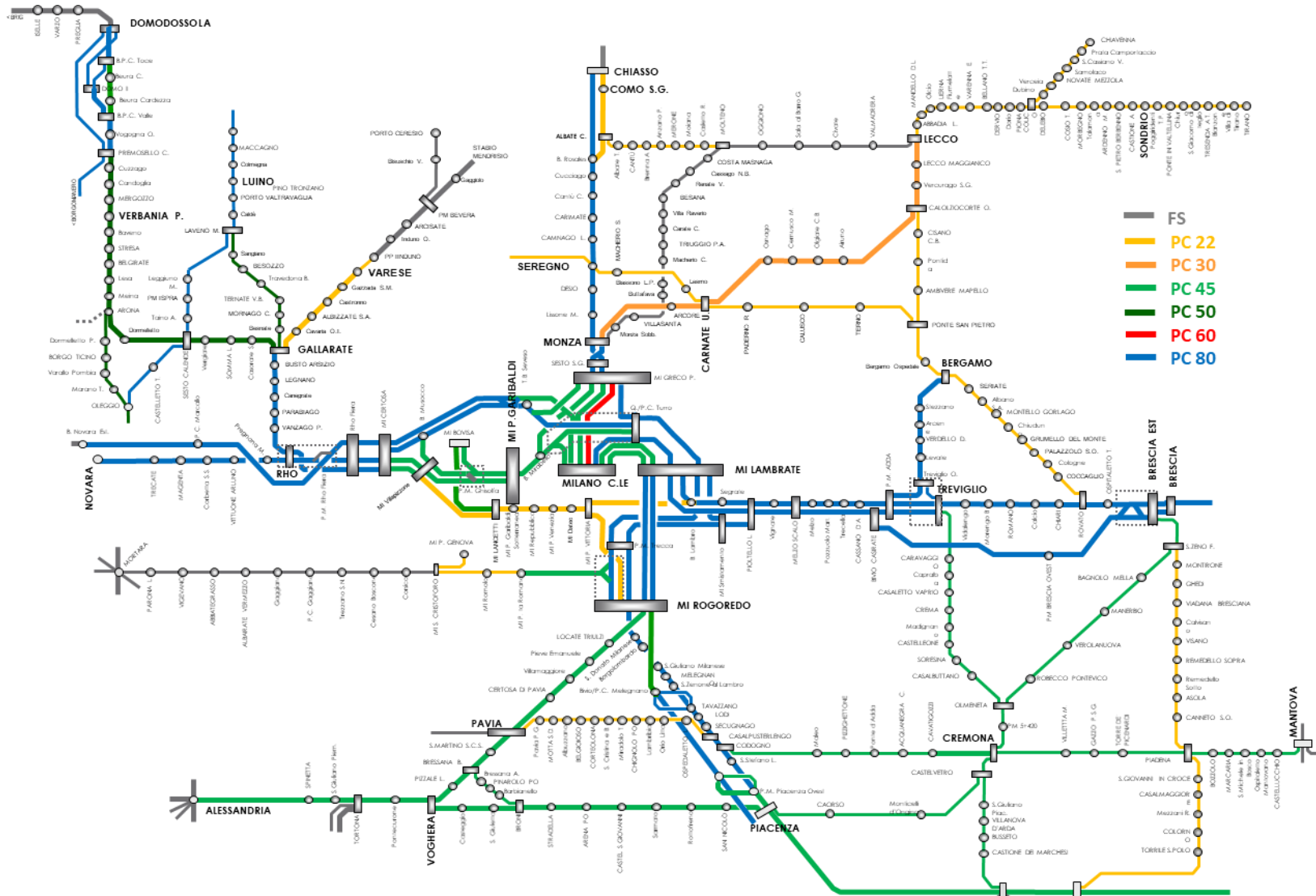


Figura 5 - Rappresentazione della sagoma limite ammessa sulle linee della Regione Lombardia e zone limitrofe prevista per l'anno 2021



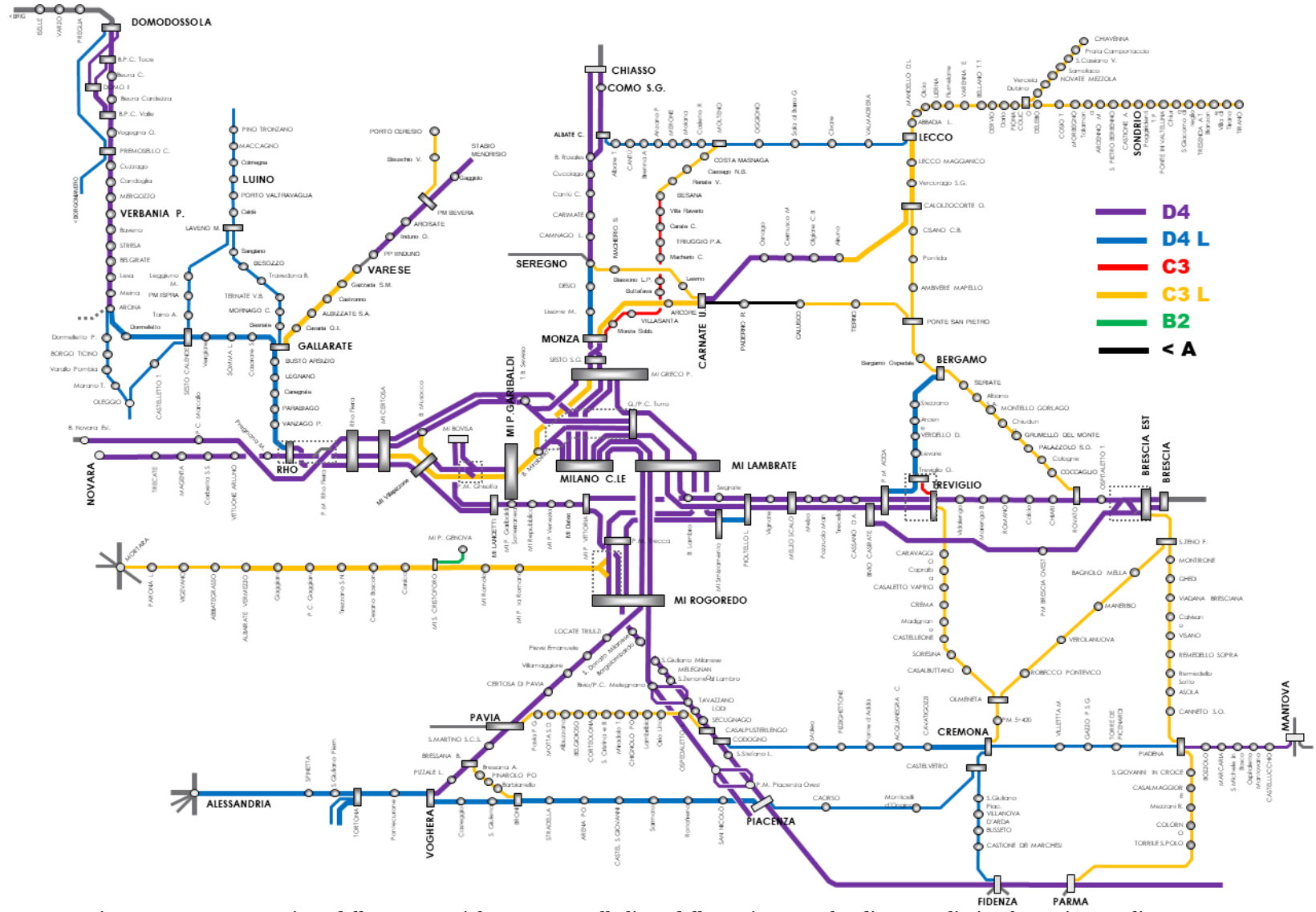


Figura 6 - Rappresentazione della massa assiale ammessa sulle linee della Regione Lombardia e zone limitrofe prevista per l'anno 2021





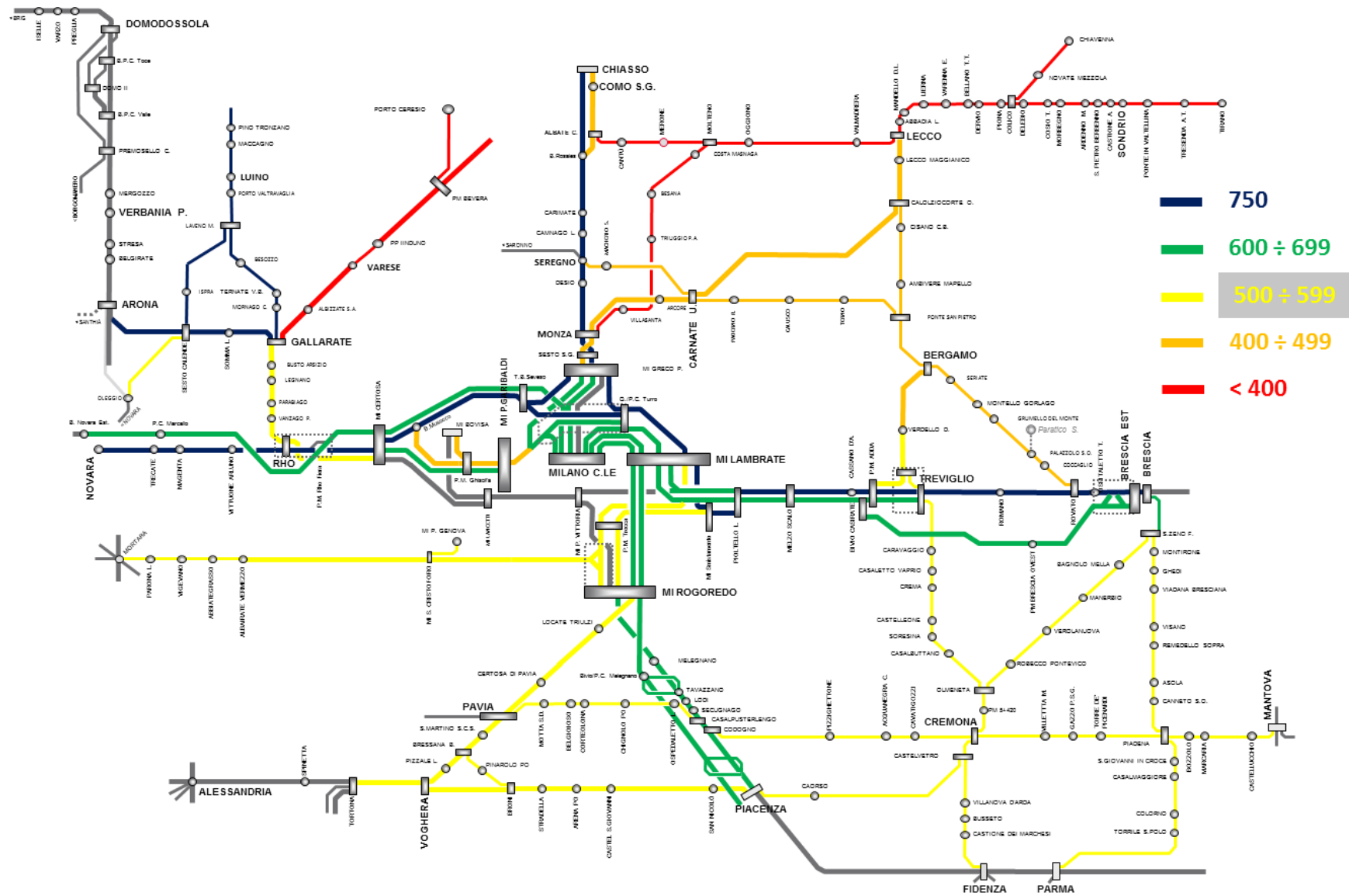


Figura 7 - Rappresentazione dei moduli di linea nella Regione Lombardia e zone limitrofe previsti per l'anno 2021



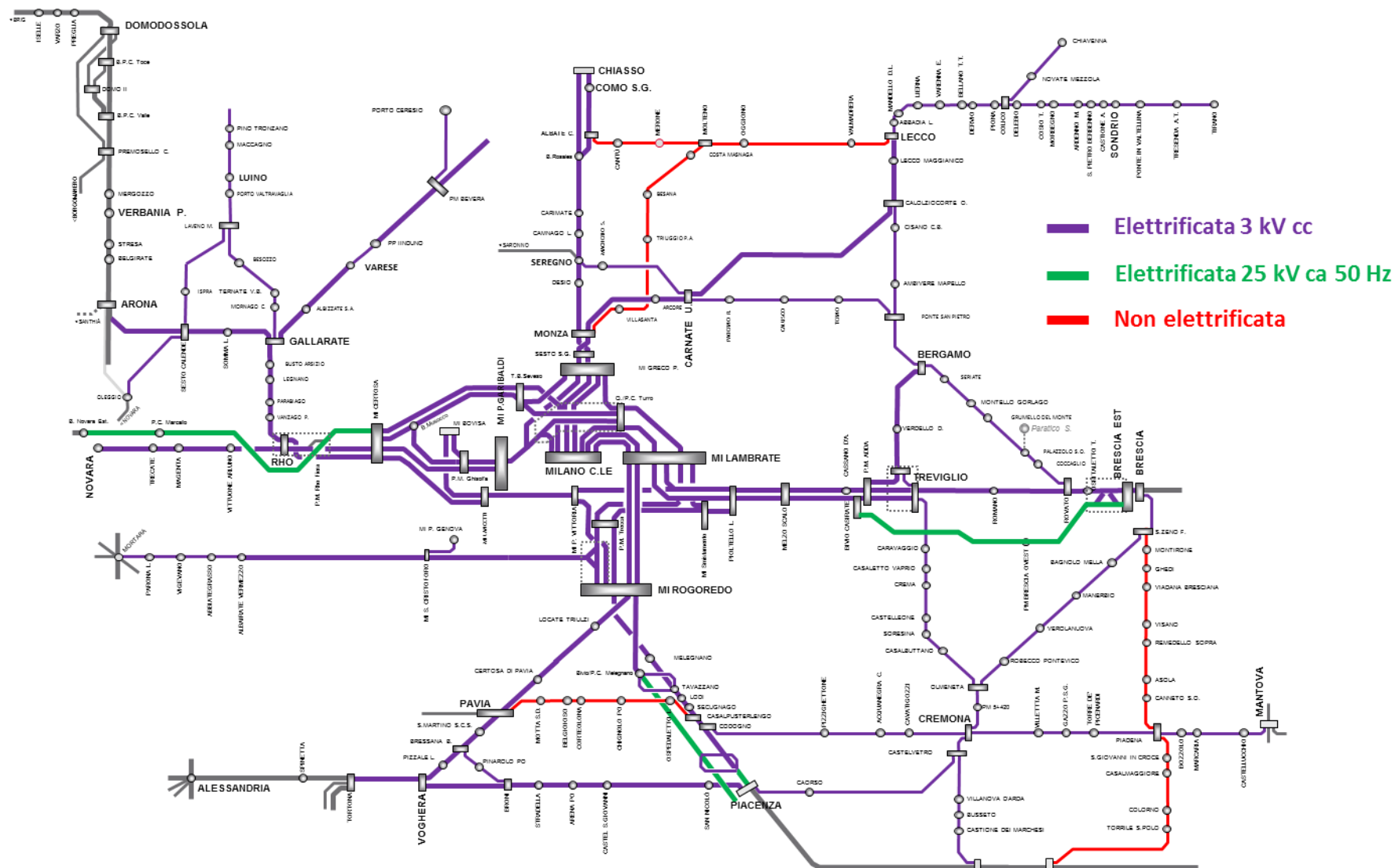


Figura 8 - Rappresentazione dei sistemi di trazione nella Regione Lombardia e zone limitrofe previsti per l'anno 2021



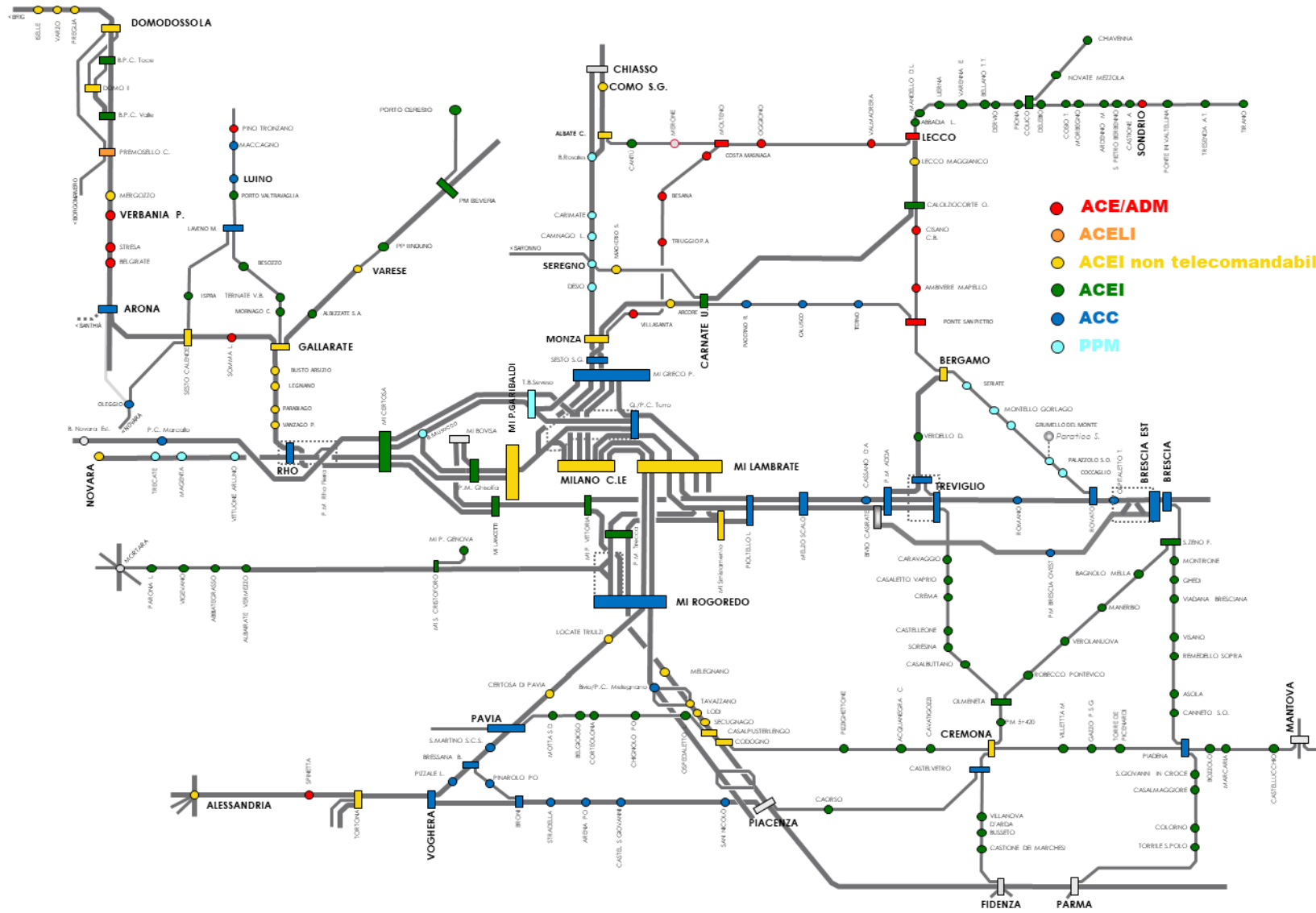


Figura 9 - Rappresentazione degli apparati centrali degli impianti presenti nella regione Lombardia e zone limitrofe previsti per l'anno 2021



### **3.1.1 Caratteristiche del Nodo ferroviario di Milano**

L'infrastruttura del Nodo ferroviario di Milano, su cui si concentra il presente elaborato, è delimitata dalle seguenti località:

- Milano Greco Pirelli: limite nord del Nodo di Milano;
- Pioltello: limite est del Nodo di Milano;
- Milano Rogoredo: limite sud del Nodo di Milano;
- Milano San Cristoforo: limite sudovest del Nodo di Milano;
- Milano Certosa: limite ovest del Nodo di Milano;
- Posto di Movimento (P.M.) Ghisolfa: insieme alla stazione di Milano Bovisa, gestita da FERROVIENORD S.p.A., costituisce il limite nordovest del Nodo di Milano.

Le linee che si diramano all'interno del Nodo di Milano sono le seguenti:

- linea Bologna: linea a doppio binario che collega Milano Centrale con Milano Rogoredo;
- linea Chiasso: linea a doppio binario che, partendo da Milano Centrale, la collega a Milano Greco Pirelli per poi continuare in direzione Chiasso al di fuori del Nodo;
- linea Cintura: linea a doppio binario che realizza il collegamento tra le località di Milano Certosa, Milano Greco Pirelli e Milano Lambrate, attraverso Triplo Bivio Seveso e Quadrivio Turro, nonché Milano Porta Garibaldi, per mezzo di Bivio Musocco. Un altro collegamento possibile attraverso questa linea è tra Milano San Cristoforo e Milano Lambrate;
- linea Circolazione: linea a doppio binario che realizza il collegamento tra Milano Centrale e Milano Greco Pirelli. Tale linea non è considerata ai fini dell'analisi capacitiva del Nodo di Milano perché usata solo per l'invio di materiale rotabile;
- linea Genova: linea a doppio binario che collega Milano Centrale con Milano Rogoredo;
- linea Lecco: linea a doppio binario che realizza il collegamento tra Milano Porta Garibaldi e Milano Greco Pirelli, proseguendo poi per la stazione di Lecco al di fuori del nodo;
- linea Malpensa: linea a doppio binario che realizza il collegamento tra la stazione di Milano Centrale e Bivio Mirabello in direzione di Milano Porta Garibaldi;
- linea Merci: linea a doppio binario che realizza il collegamento tra Milano Rogoredo e Milano Smistamento, nonché quello tra Milano Greco Pirelli e

---

Milano Smistamento. In tale località le due linee si uniscono proseguendo fino all'impianto di Pioltello;

- linea Passante: linea a doppio binario che realizza il collegamento sotterraneo tra le località di Milano Rogoredo e Milano Forlanini, ad est, e con la località di Milano Villapizzone e Milano Bovisa a nordovest;
- linea Venezia: linea a doppio binario che realizza il collegamento tra Milano Centrale e Milano Lambrate. Tale linea viene quadruplicata dopo Milano Lambrate in direzione Pioltello, per poi uscire dal nodo in direzione Brescia;
- linea Viaggiatori: linea a doppio binario che realizza il collegamento tra gli impianti di Milano Centrale e Milano Certosa.

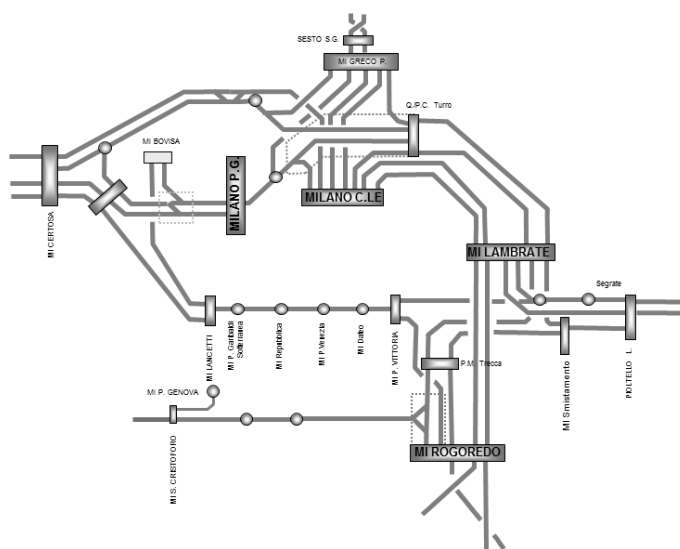


Figura 10 - Nodo ferroviario di Milano

Le linee che convergono sul Nodo di Milano sono le seguenti:

- linea AV/AC: linea a doppio binario che, a partire da Milano Certosa, prosegue in direzione Rho Fiera per poi inserirsi nella linea AV Milano – Torino;
- linea Novara: linea a doppio binario che, a partire da Milano Certosa, prosegue in direzione Rho e poi Novara;
- linea Varese: linea a doppio binario che, a partire da Milano Certosa, prosegue fino alla stazione di Rho per poi continuare fino a Gallarate;
- linea Chiasso: linea che esce dal nodo dalla stazione di Milano Greco Pirelli per poi dirigersi a Monza e dunque a Chiasso;
- linea Lecco: linea a doppio binario che esce dal nodo dalla stazione di Milano Greco Pirelli per poi dirigersi a Monza e continuare in direzione Lecco (via Carnate);



- linea Venezia: linea quadruplicata, a valle di Milano Lambrate, che esce dal nodo dalla stazione di Pioltello in direzione Brescia. La variante lenta è denominata “LL” e su di essa sono presenti le località di Vignate, Melzo ed altre; la variante veloce, detta, “DD” consente un rapido collegamento verso Bivio Casirate per poi ricongiungersi all’infrastruttura AV/AC Milano – Brescia;
- linea Bologna: linea che esce dal nodo quadruplicata, da Milano Rogoredo, presente in una variante lenta, detta “tradizionale” o “LL”, collegamento storico in direzione Piacenza e poi Bologna, e in una variante veloce, denominata “AC/AV” o “DD”, che permette l’inserimento sulla linea AV/AC Milano – Bologna attraverso P.C. Melegnano.
- linea Genova: linea a doppio binario che esce dal nodo a Milano Rogoredo e prosegue in direzione Pavia;
- linea Mortara: linea inizialmente a doppio binario che esce dal nodo a Milano San Cristoforo in direzione Albairate Vermezzo e poi Mortara.

I principali impianti di stazione del Nodo di Milano sono Milano Centrale, Milano Porta Garibaldi, Milano Rogoredo, Milano Lambrate e Milano Greco Pirelli.

Milano Centrale è una stazione di testa dotata di ventiquattro binari, sui quali convergono le linee Malpensa, Viaggiatori, Chiasso, Circolazione, Venezia, Bologna e Genova. Nell’impianto coesistono tre diverse tipologie di binari [56]:

- binari di stazionamento: dal I al XXIV;
- binari del piazzale locomotive: quattro binari collocati a nord tra la linea Chiasso e la linea Venezia;
- binari secondari: comprendono i sei binari di disimpegno posti in prossimità della tettoia, gli undici binari tronchi collocati tra i fasci ed i parchi, nonché tutti i binari che costituiscono i nove fasci di ricovero.

La stazione di Milano Porta Garibaldi è dotata di venti binari. Quelli compresi dal I al XII sono tronchi, mentre dal XIII al XX sono passanti e consentono il collegamento con Bivio Mirabello, verso levante, e con la linea Cintura a ponente. Nella radice ovest di questa stazione confluisce anche la linea Novara, in direzione Milano Certosa.

La stazione di Milano Rogoredo presenta tredici binari, otto dei quali passanti e cinque tronchi. Questa stazione costituisce il punto di diramazione delle linee per Lodi - Piacenza e per Pavia – Arquata – Genova.

---

L'impianto di Milano Lambrate è dotato di dodici binari passanti. In esso convergono molte linee fondamentali per la circolazione del Nodo di Milano quali la linea Genova, la linea Bologna, la linea Venezia e la linea Merici.

Sono inoltre presenti altri impianti minori, ma di rilevanza strategica per la circolazione ferroviaria, tra cui la stazione di Milano Certosa, dalla quale hanno origine la linea Cintura, di notevole importanza per il traffico merci, ed il Passante Ferroviario, nel quale sono collocate le stazioni di Milano Lancetti e di Milano Porta Vittoria, come anche le fermate di Milano Porta Garibaldi Sotterranea, Milano Repubblica, Milano Porta Venezia, Milano Dateo, Milano Forlanini e Milano Villapizzone. Il Passante Ferroviario, in una delle sue diramazioni, in prossimità della stazione di Milano Bovisa, consente il collegamento con la rete ferroviaria di FERROVIENORD S.p.A.

Infine, le località di Milano Porta Genova, Milano San Cristoforo, Milano Romolo e di Milano Porta Romana sono situate sulla linea diretta a Mortara, la quale si collega al Nodo di Milano mediante l'impianto di Milano San Cristoforo.

Come già specificato, il presente elaborato ha come scopo lo studio e la reimpostazione della circolazione ferroviaria nel Nodo di Milano, conseguentemente alla realizzazione del Passante AV di Milano. A tale scopo, è necessario ampliare oltre i confini del nodo tradizionale l'area oggetto di studio; verrà pertanto considerato il cosiddetto Nodo "allargato" di Milano, delimitato dai seguenti confini:

- Seregno: limite nord;
- Carnate Usmate: limite nordest;
- Treviglio: limite est;
- Lodi: limite sudest;
- Pavia: limite sudovest;
- Mortara e Novara: limiti ovest;
- Gallarate: limite nordovest.

Avendo considerato lo scenario di base coerente con la configurazione di rete all'anno 2021, si assume che, in quell'orizzonte temporale, siano stati portati a termine i seguenti interventi di potenziamento infrastrutturale e tecnologico, attualmente in corso di realizzazione.

1. Attivazione ACC-M nella tratta Voghera – Piacenza, con conseguente sostituzione dell'attuale impianto di Blocco Elettrico Manuale (BEM) con un impianto di Blocco Conta Assi Banalizzato (BCAB), nella tratta Stradella – San Nicolò, e banalizzazione delle tratte Broni – Stradella e San Nicolò – Piacenza.

2. Realizzazione del distanziamento a quattro minuti sulla linea Monza – Chiasso, via Monte Olimpino 2.
3. Piano Regolatore Generale (PRG) e nuovo Apparato tecnologico di Brescia, con conseguente eliminazione delle interferenze tra i servizi passanti Milano – Venezia ed i servizi che attestano a Brescia, e possibilità di ottimizzazione della capacità dell'impianto.
4. Attivazione ACC-M nella tratta Romano – Brescia, nell'ambito del piano di potenziamento tecnologico dell'asse Torino – Padova.
5. Attivazione del sistema di distanziamento Blocco Conta Assi (BCA) in sostituzione del BEM attuale nella tratta Costa Magnana – Oggiono, con conseguente riduzione della specifica di distanziamento della linea.
6. Rinnovo tecnologico degli apparati centrali diffusi su molti impianti del bacino lombardo. Gli interventi interesseranno le tratte Monza – Lecco via Molteno, Bergamo – Lecco e Bergamo – Carnate, con conseguente rinnovo di una parte degli Apparati delle località presenti in tali linee; la conclusione dell'intervento riguarda comunque un orizzonte più lontano di quello analizzato in questa fase.

## **3.2 Configurazione di rete al 2026**

Per poter studiare gli effetti del Passante AV sull'utilizzazione del Nodo di Milano e dei suoi impianti, è necessario considerare, come già detto, un contesto temporale sufficientemente lontano, tale da rendere verosimile l'analisi. Per questa ragione si è scelto di verificare la nuova infrastruttura in uno scenario tragguardato oltre l'anno 2026, considerando un nuovo assetto di rete implementato, per il compimento di una serie di interventi infrastrutturali e tecnologici, di seguito dettagliati, che ragionevolmente si possono considerare ultimati entro il 2026.

1. ERTMS-HD<sup>5</sup> nella tratta Milano Porta Garibaldi – Milano Greco Pirelli – Milano Lambrate.

Questo intervento consente di poter aumentare la capacità di tali tratti di linea, al fine di garantire un adeguato livello di servizio degli stessi. Il sistema di distanziamento da implementare è detto ad "alta densità" e consente di massimizzare la capacità della linea, mediante la suddivisione della sezione di blocco in più sezioni parziali fisse, denominate "sezioni di blocco radio", di lunghezza pari a 450 metri. In buona sostanza, il sistema HD è un sistema

---

<sup>5</sup> European Rail Traffic Management System High Density.

---

ERTMS/ETCS L2 al quale sono aggiunte alcune funzionalità del Livello 3; esso prevede l'utilizzo di un *Radio Block Centre* (RBC), detto RBC di Nodo, in grado di fornire le autorizzazioni al movimento nelle sezioni parziali e negli itinerari parziali (emi-itinerari).

È prevista l'installazione del sistema di terra della tecnologia ERTMS/ETCS HD in sovrapposizione al Sistema di Controllo della Marcia Treni (SCMT) in modo da garantire l'operabilità del materiale rotabile non attrezzato con il nuovo sistema.

2. Rinnovo del Blocco Automatico nella tratta Quadrivio Turro – Milano Smistamento.

Tale intervento consente di esercire la linea Merci con una specifica di distanziamento pari a quattro minuti, aumentandone la capacità.

3. Rinnovo del Blocco Automatico nella tratta Milano Rogoredo – Piacenza.

Grazie a questa attivazione, verrà rinnovato il BA della variante lenta della linea Milano – Bologna nella tratta Milano – Piacenza. In particolare, si otterrà un distanziamento a quattro minuti sulla tratta Milano Rogoredo – Melegnano *LL*, e un'omogeneizzazione del distanziamento, per tutte le tratte a cinque minuti, nei restanti segmenti.

4. Nuovo Apparato Centrale (AC) di Milano Porta Garibaldi.

L'intervento prevede l'attivazione di un nuovo AC gestito direttamente dal Posto Centrale di Circolazione Milano Greco, nonché la realizzazione di interventi infrastrutturali mirati ad una più efficace gestione della circolazione dei treni ambito impianto. In previsione, sarà possibile attestare sui binari I÷XII i treni che provengono da PM Ghisolfa e dalla linea Cintura.

5. Nuovo Apparato Centrale e PRG di Milano Lambrate.

L'intervento è mirato alla riduzione delle interferenze del traffico merci, diretto a Milano Smistamento e Chiasso, ed i servizi circolanti sulla linea Cintura in direzione Rogoredo e San Cristoforo. Più nel dettaglio, è previsto un sottoattraversamento del binario dispari della linea Cintura in corrispondenza della radice sud della stazione che, unitamente ad interventi mirati in radice nord sui binari I÷IV, consente l'eliminazione dei tagli, nonché la specializzazione dei binari nei due sensi di marcia.

6. Piano Regolatore Generale di Monza.

Tale intervento è mirato alla velocizzazione dei servizi tra le linee Lecco e Molteno, in prima fase, e tra le linee Chiasso e Lecco in seconda fase. Permetterà di aumentare i movimenti contemporanei nell'impianto e, di conseguenza, la regolarità di servizi.

7. Piano Regolatore Generale di Rho.

Questa attivazione è mirata all'eliminazione delle interferenze dei flussi diretti a Novara e Gallarate, in ottica di potenziamento della frequenza degli stessi.

8. Nuovo Apparato e Piano Regolatore Generale di Milano Certosa.

Questa attivazione consiste nel rinnovo tecnologico dell'Apparato Centrale di stazione, con limitati interventi al piano del ferro, al fine di migliorare la regolarità della circolazione.

9. Rinnovo tecnologico della tratta Monza – Carnate.

Consiste nell'attivazione di un nuovo sistema di distanziamento nella tratta Monza – Carnate, tale da garantire una specifica tecnica di quattro minuti, necessaria per fronteggiare lo sviluppo del traffico metropolitano del Nodo di Milano, consentendo di migliorare la regolarità della circolazione ferroviaria.

10. Sostituzione del BEM con BCA.

Si prevede la sostituzione del blocco nelle seguenti tratte:

- Monza – Molteno – Lecco;
- Cisano – Ponte San Pietro.

11. Attivazioni ACC-M.

Si tratta del più avanzato sistema di esercizio per la regolazione della circolazione a distanza, nel quale, da un posto centrale, è possibile comandare direttamente tutti gli enti di stazione e di linea. Con traguardo 2026 si attrezzeranno con questa tecnologia le seguenti tratte:

- Bivio Rosales – Monte Olimpino 1;
- Gallarate – Sesto Calende;
- Milano – Tortona;
- Bergamo – Coccaglio;
- Novara – Rho;

---

12. Attivazione di nuove fermate.

Nella configurazione di rete al 2026 sono state considerate attive le seguenti fermate, ad oggi non esistenti:

- Tibaldi, collocata tra gli impianti di Porta Romana e Romolo;
- Como Camerlata;
- Monza Est, realizzata a nord della fermata Monza Sobborghi sulla linea Monza – Molteno – Lecco;
- Dergano e Istria, studiate in coppia, sono parte del piano di potenziamento della Cintura Nord.

13. Raddoppio della tratta Bergamo – Ponte San Pietro.

Si tratta di 7,7 km di linea, oggi a semplice binario, già predisposti per il raddoppio. Questo intervento permette il potenziamento dei servizi nel Nodo di Bergamo. In aggiunta a tale intervento, è previsto il raddoppio della tratta Bergamo – Montello, tuttavia non realizzabile entro l'anno 2026.

14. Quadruplicamento della tratta Milano Rogoredo – Pieve Emanuele.

Consiste nella prima fase del quadruplicamento della linea Milano – Pavia. L'attivazione consentirà di separare i servizi diretti verso Alessandria, Tortona e Genova dai servizi suburbani che effettuano molteplici fermate nelle località intermedie.

15. Quadruplicamento Rho – Parabiago

Questo intervento, unitamente al PRG di Rho, riguarda la prima fase del potenziamento della linea Gallarate – Rho. Tale potenziamento, per mezzo dell'istituzione dei servizi S15 Milano Rogoredo – Parabiago e S16 Abbiategrasso – Parabiago, renderà possibile l'incremento dell'offerta di trasporto verso Parabiago. Insieme a questo intervento si vedrà realizzata la nuova fermata Nerviano, posta sulla Rho – Parabiago (LL).

16. Velocizzazione Milano – Genova.

Consiste nell'insieme di attivazioni atte alla riduzione dei tempi di percorrenza in direzione Genova. Questa linea sarà inoltre attrezzata con tecnologia ERTMS di Livello 2.

17. Collegamento con Malpensa T2.

Questo intervento fa parte del potenziamento Rho – Gallarate e prevede la realizzazione di una nuova infrastruttura di collegamento tra la stazione di Gallarate ed il Terminal 2 dell'aeroporto di Milano Malpensa.

### **3.3 Configurazione di rete oltre 2026**

Vengono di seguito esposti gli interventi infrastrutturali, nel lungo termine, previsti sulla rete ferroviaria di Regione Lombardia.

1. Raddoppio della tratta Codogno – Piadena.

Questo intervento è parte del progetto di potenziamento della linea Codogno – Mantova e, in questa fase, porta al raddoppio della tratta Codogno – Piadena, nonché alla soppressione di alcuni Passaggi a Livello (PL).

2. Raddoppio della tratta Cremona – Olmeneta.

Questo intervento consiste nel raddoppio della tratta tra Cremona e Olmeneta, in modo da consentire una migliore gestione dei traffici provenienti da due relazioni in sovrapposizione.

3. Raddoppio della tratta Brescia – San Zeno.

Facente parte del progetto di potenziamento della linea Brescia – San Zeno – Ghedi, questo intervento consiste nel raddoppio della prima tratta Brescia – San Zeno, ritenuto un tratto critico a causa della presenza di servizi provenienti da molteplici direttrici.

4. Raddoppio Bergamo – Montello.

A completamento dell'intervento descritto in precedenza, consiste nel raddoppio della tratta a sud di Bergamo fino alla stazione di Montello, sulla linea in direzione Rovato.

5. Raddoppio della tratta Albairate – Vigevano.

Questo intervento riguarda la linea Milano – Mortara, il cui tratto finale risulta, ad oggi, a semplice binario.

---

6. Quadruplicamento della tratta Pieve Emanuele – Pavia.

Tale progetto consiste nel completamento del potenziamento della linea Milano – Pavia, con il quadruplicamento della tratta Pieve Emanuele – Pavia, nonché la modifica del piano di stazione di Pavia. L’attivazione di questo potenziamento consente di poter separare le relazioni regionali da quelle di lunga percorrenza, anche a beneficio della regolarità dei servizi.

7. Quadruplicamento della tratta Tavazzano – Lodi.

L’intervento prevede il quadruplicamento della tratta Tavazzano – Lodi, posta sulla linea Milano – Bologna e, ad oggi, prossima alla saturazione. È inoltre previsto il rinnovo tecnologico della linea con un nuovo sistema di comando e controllo, che permetterà un incremento di regolarità anche attraverso la gestione da un unico posto di comando.

8. Quadruplicamento della tratta Tortona – Voghera.

Questo intervento è parte del progetto di potenziamento della direttrice Milano – Genova che, unitamente al quadruplicamento della tratta Milano – Pavia, risulta essere una modifica strategica per l’apertura del Terzo Valico.

9. Nuove fermate di Stephenson e Mind.

La realizzazione delle nuove fermate di Stephenson e Mind è un intervento propedeutico al potenziamento di offerta sulla Cintura Nord del Nodo di Milano, in funzione della messa in esercizio del servizio S16.

Tali fermate saranno collocate sulla linea Varese nella tratta tra Milano Certosa e Rho Fiera; la fermata di Stephenson ad ovest della stazione di Milano Certosa, è localizzata in prossimità dello scavalco ferroviario di Fiorenza, mentre la fermata Mind sarà realizzata nella radice est di Rho Fiera.

Si riporta a seguire una rappresentazione del Nodo allargato di Milano, nella configurazione infrastrutturale futura nel lungo termine, al termine di tutti gli interventi sopracitati.



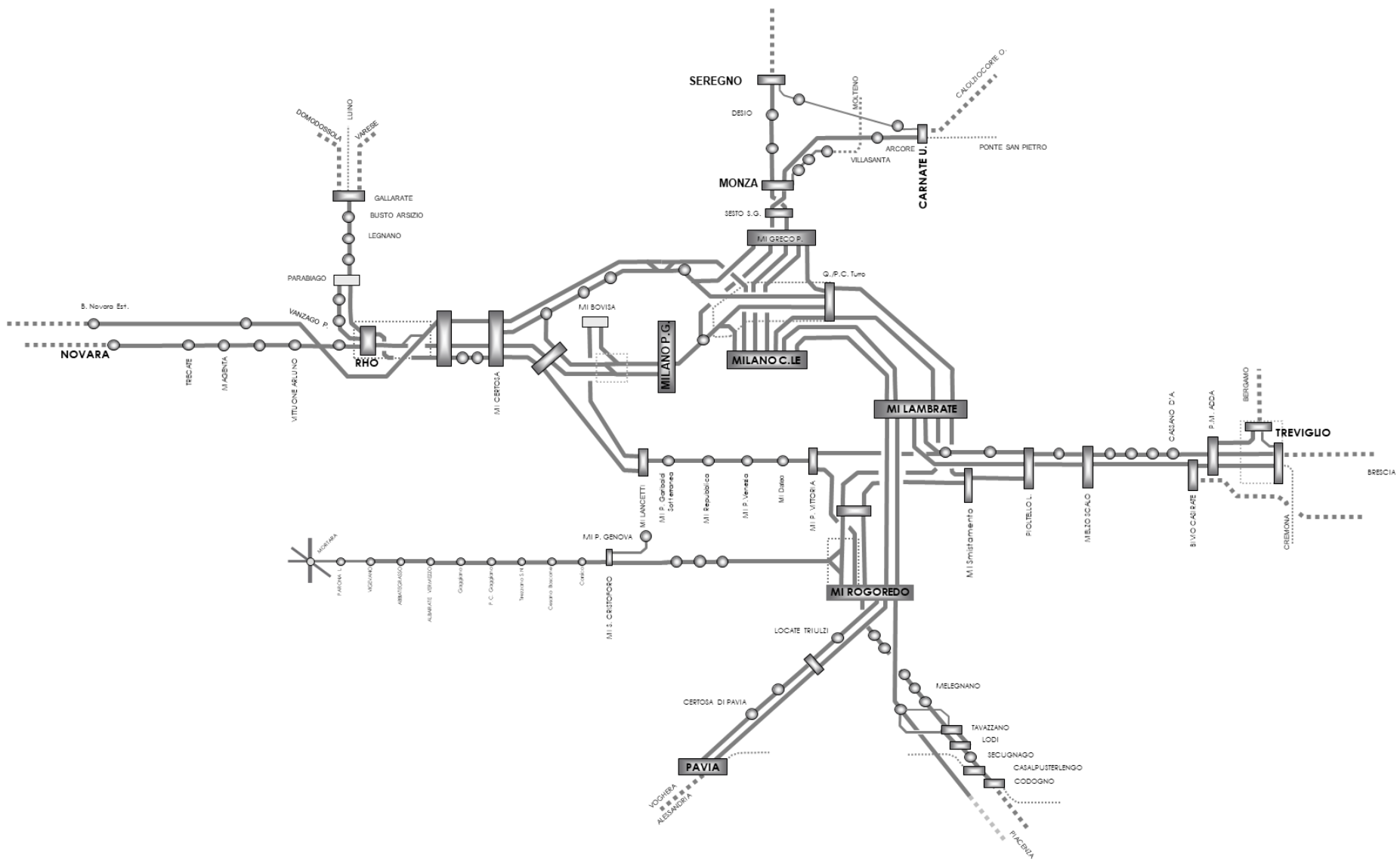


Figura 11 - Configurazione della rete del Nodo allargato di Milano in uno scenario oltre 2026



---

## 4

# Modelli di offerta attuali e di prospettiva

Il modello di offerta è la descrizione puntuale del carico che interessa l'infrastruttura; in esso sono contenuti tutti i traffici, differenziati per tipologia di servizio, che insistono sulla rete. Di fatto, nel modello di offerta, sono definite le frequenze di ogni specifico servizio operante su una relazione. Risulta utile distinguere il modello di offerta per il traffico merci e per il traffico passeggeri, a causa della differenza concettuale con la quale viene derivata la frequenza degli stessi.

La successiva attribuzione dei servizi presenti nel modello di offerta agli elementi della rete definisce il modello di esercizio.

In questo capitolo saranno presentati in primo luogo il modello di offerta ed il modello di esercizio attuali di Regione Lombardia, in accordo con l'AQ per il Trasporto Pubblico Locale [42], nonché gli AQ per i servizi di Lunga Percorrenza [45]; saranno inoltre recepite eventuali variazioni che entreranno in vigore per l'orario di servizio 2020-2021, anche in virtù dei potenziamenti della rete portati a compimento entro dicembre 2020 [44].

Successivamente, saranno analizzate le modifiche al modello di offerta previste negli scenari futuri e connesse ai potenziamenti infrastrutturali descritti nel Capitolo 3.

### 4.1 Modello di offerta viaggiatori attuale

L'offerta del servizio viaggiatori è differenziata in:

- servizi di Lunga Percorrenza;

- 
- servizi Regionali;
  - servizi Suburbani.

Tali servizi differiscono per velocità commerciale, bacino di utenza servita, frequenza e numero di fermate effettuate durante il percorso.

Il cadenzamento che caratterizza sia i servizi locali, sia i servizi di Lunga Percorrenza, permette di riferire l'analisi capacitiva al modulo orario, che sia esso in fascia di punta o di morbida. A ciascuna relazione individuata sarà associata una frequenza di riferimento. I servizi a frequenza bioraria, ovvero una corsa ogni due ore, sono assimilati a servizi con frequenza oraria, ad eccezione dei casi in cui due relazioni con frequenza pari a 120 minuti siano collocate su una stessa traccia per la parte di rete in questione, ma ad orari alterni; in questa situazione, ad una delle relazioni viene attribuita frequenza oraria, mentre la seconda viene assorbita dalla prima.

Vi sono poi relazioni di tipo “spot”, caratterizzate da una frequenza molto bassa o difficilmente definibile. Per tali relazioni saranno sviluppate scelte ponderate caso per caso, in funzione dell'importanza dei servizi e della criticità della loro collocazione all'interno dell'orario<sup>6</sup>.

Le relazioni di servizio relative al trasporto dei passeggeri sono riportate sinteticamente nel seguente elenco e dettagliate nei paragrafi successivi:

- Servizi ad Alta Velocità (AV): relazioni che operano sulle linee AV/AC ed effettuano fermata nei principali nodi italiani;
- Eurocity (EC): relazioni che collegano alcune località estere con Milano;
- Eurostar (ES): relazioni esercite con materiale rotabile AV, ma circolante sulle linee tradizionali. Esse fermano nei maggiori centri italiani;
- Intercity (IC): relazioni di Lunga Percorrenza che fermano nei maggiori centri italiani con un servizio più pervasivo di quello degli ES;
- Regionali Veloci (RV): relazioni di media/lunga distanza facenti parte del contratto di servizio con le regioni. Si differenziano dai servizi regionali per il minor numero di fermate che effettuano nel percorso. Per quanto concerne il servizio di trasporto effettuato da Trenord, questi servizi sono denominati “Regio Express” (RE);
- Regionali (R): categoria di servizi di breve-medio raggio, che opera in una regione o, al più, collegano regioni limitrofe. Anch'essi fanno parte del contratto

---

<sup>6</sup> Se la traccia è replicabile in modo regolare nell'orario grafico, viene attribuita al servizio una frequenza di 120 minuti; se la replicazione della traccia non è fattibile per conflitti con altri servizi la relazione non viene considerato.

di servizio ed effettuano tutte le fermate fino all'ingresso del Nodo di Milano; una volta entrati nel nodo prestano servizio solo nelle fermate principali. Se non facenti capo a Milano, tali servizi effettuano tutte le fermate presenti sulla linea;

- Suburbani (S): specifica categoria del contratto di servizio con Regione Lombardia, collegano in modo capillare le località prossime a Milano. Questi servizi effettuano tutte le fermate presenti sulla linea e, in alcuni casi, usufruiscono del Passante Ferroviario.

#### 4.1.1 Lunga Percorrenza

Le relazioni di Lunga Percorrenza in Regione Lombardia sono esercite per la quasi totalità dalle società Trenitalia (TI) e Italo – Nuovo Trasporto Viaggiatori (NTV). Esistono poi altre relazioni minori verso la Francia, effettuate dalla società SNCF<sup>7</sup> Voyages Italia, in direzione Parigi, e dalla società Thello sempre verso il confine francese. In funzione della tipologia di collegamento che tali servizi effettuano, si distinguono tre livelli di servizio.

##### 4.1.1.1 Servizi ad Alta Velocità

Sono servizi con frequenza 15 o 30 minuti che collegano i grandi centri italiani, usufruendo delle linee AV. Questi servizi sono attestati nel capoluogo lombardo nella stazione di Milano Centrale ed effettuano in alcuni casi fermata anche a Milano Porta Garibaldi, Milano Rogoredo e Rho Fiera.

A seguire l'elenco di dettaglio delle relazioni AV considerate nell'analisi.

Relazione	f. Punta [min]	f. Morb. [min]
AV Milano Centrale - Roma/Napoli TI	30	30
AV Milano Centrale - Roma/Napoli NTV	60	60
AV Bergamo - Brescia - Roma <i>Spot</i>	1 coppia/gg	0
AV Torino - Milano Centrale – Roma/Napoli TI	30	60
AV Torino - Milano Centrale – Roma/Napoli NTV	30	60
AV Torino - Milano Porta Garibaldi - Roma TI	60	0
AV Milano Centrale - Venezia TI	30	30
AV Milano Centrale - Venezia NTV	60	60
AV Milano Centrale - Adriatica	1 coppia/gg	0

Tabella 5 - Modello d'offerta dei servizi ad Alta Velocità previsto per l'orario 2021 in Regione Lombardia

<sup>7</sup> (Société Nationale des Chemins de fer Français).

---

#### 4.1.1.2 Servizi Eurocity

Si tratta di servizi adibiti al trasporto passeggeri, su relazioni che interessano tipicamente la Svizzera. Le destinazioni verso le quali si effettua il servizio sono Ginevra, Basilea e Zurigo. Questi servizi circolano sulle linee tradizionali e sono cadenzati ogni 60 o 120 minuti, come riportato nel dettaglio in Tabella 6. Le relazioni da e verso la Francia, facenti capo a Milano Porta Garibaldi, sono numericamente irrilevanti e, pertanto, non sono state considerate nel calcolo capacitivo delle tratte di nodo.

<b>Relazione</b>	<b>f. Punta [min]</b>	<b>f. Morb. [min]</b>
EC Milano Centrale - Domodossola	60	120
EC Milano Centrale - Chiasso	60	120

Tabella 6 - Modello d'offerta dei servizi EC previsti per l'orario 2021 in Regione Lombardia

#### 4.1.1.3 Servizi Eurostar

Sono servizi che circolano al di fuori della rete AV/AC, aventi frequenza oraria o inferiore, tipicamente attestati nella stazione di Milano Centrale.

L'unica relazione considerata è l'*ES Milano Centrale – Adriatica*, che percorre la linea tradizionale verso Bologna, fermando in tutti i capoluoghi di provincia dell'Emilia-Romagna. La sua frequenza nella fascia di punta è oraria, mentre in fascia di morbida diventa bioraria.

#### 4.1.1.4 Servizi Intercity

Si tratta di servizi generalmente di lunga distanza che consentono il collegamento capillare del territorio grazie alle molteplici fermate che effettuano lungo il percorso. Questi servizi fanno capo a Milano Centrale e collegano il capoluogo con i principali centri italiani di medie dimensioni. In Tabella 7 si riportano i servizi considerati ai fini dell'analisi capacitiva effettuata.

<b>Relazione</b>	<b>f.Punta [min]</b>	<b>f.Morb. [min]</b>
IC Milano Centrale – Genova (Ventimiglia)	60	60
IC Milano Centrale – Piacenza (Adriatica/Dorsale)	1 coppia/gg	0

Tabella 7 - Modello d'offerta dei servizi IC previsto per l'orario 2021 in Regione Lombardia

## 4.1.2 Servizio Ferroviario Regionale

Come già anticipato il Servizio Ferroviario Regionale (SFR) [44] è suddiviso in tre diversi livelli di servizio cadenzato.

- Servizi Regionali Veloci (RV)/Regio Express (RE);
- Servizi Regionali (R);
- Servizio Suburbani (S).

### 4.1.2.1 Servizi RV/RE

Sono caratterizzati da una frequenza oraria o, al più, bioraria. Questo livello di servizio effettua un numero ridotto di fermate, allo scopo di realizzare rapidi collegamenti sul medio raggio. L'impresa ferroviaria che esercisce i servizi RV in Lombardia è Trenitalia, mentre i servizi RE sono gestiti dalla società Trenord.

Gli RV/RE sono attestati per la maggior parte nella stazione di Milano Centrale, così da creare un interscambio diretto con i servizi di Lunga Percorrenza.

Si riporta a seguire l'elenco di tutti i servizi RV e RE considerati ai fini dell'analisi capacitativa, estesa al Nodo di Milano, oggetto di questo elaborato.

Relazione	f.Punta [min]	f.Morb. [min]
RV Torino Porta Nuova - Milano Centrale	60	60
RV Torino Porta Nuova - Milano Porta Garibaldi	60	0
RV Milano Centrale - Parma - Bologna Centrale	120	120
RE2 Milano Centrale - Bergamo (via Treviglio)	60	60
RE4 Milano Centrale - Domodossola	60	120
RE5 Milano Porta Garibaldi - Gallarate - Varese - Porto Ceresio	30	60
RE6 Milano Centrale - Brescia - Verona	60	60
RE8 Milano Centrale - Lecco - Sondrio - Tirano	60	60
RE10 Milano Centrale - Como - Chiasso - Bellinzona	60	60
RE11 Milano Centrale - Codogno - Cremona - Mantova	120	120
RE13 Milano Centrale - Pavia - Tortona - Alessandria/Genova	60	60
MPX Milano Centrale - Milano Bovisa FN - Malpensa	30	30

Tabella 8 - Modello di offerta RV/RE previsto per l'orario 2021 in Regione Lombardia

Di seguito sono inoltre riportate, a titolo informativo, le relazioni operanti sulla rete non RFI e quindi non considerate ai fini dell'analisi.

Relazione
RE1 Laveno – Varese – Saronno – Milano
RE3 Brescia – Iseo – Edolo
RE7 Como – Saronno – Milano

Tabella 9 - Relazioni RE non operanti sulla rete RFI

#### 4.1.2.2 Servizi R

Sono servizi cadenzati con frequenza pari a 30 o 60 minuti che non effettuano fermate nell'area suburbana, ad eccezione dei principali nodi di interscambio. Ad una distanza sufficientemente lontana dal nodo, questi servizi effettuano invece tutte le fermate presenti sul percorso.

Nella Tabella 10 sono riportate tutte le relazioni, operanti sulla rete RFI, tenute in considerazione nell'analisi del Nodo di Milano allargato.

Relazione	f. Punta [min]	f. Morb. [min]
R1 Bergamo – Brescia	30	60
R2 Bergamo – Treviglio	30	60
R4 Milano Greco Pirelli – Milano Lambrate – Brescia	60	0
R5 Brescia – Cremona	60	60
R6 Cremona – Treviglio	60	60
R7 Lecco – Bergamo	60	60
R8 Brescia – Parma	60	60
R11 Colico – Chiavenna	60	60
R12 Sondrio – Tirano	120	120
R13 Lecco – Colico – Sondrio	60	60
R14 Milano Greco Pirelli – Carnate – Bergamo	30	60
R15 Seregno – Carnate	60	60
R18 Como – Molteno	60	60
R21 Luino – Gallarate	60	60
R23 Milano Porta Garibaldi – Gallarate – Arona (- Domo.)	60	60
R31 Milano Porta Genova – Mortara	60	60
R34 Milano Greco Pirelli – Pavia – Stradella – Piacenza	60	60
R35 Pavia – Torreberetti – Alessandria	60	60
R36 Pavia – Mortara – Vercelli	60	60
R37 Pavia – Casalpusterlengo – Codogno	30	60



<b>Relazione</b>	<b>f. Punta [min]</b>	<b>f. Morb. [min]</b>
R38 Milano Greco Pirelli – Lodi – Piacenza	60	60
R39 Codogno – Cremona	120	120
R40 Cremona – Mantova	120	120
R41 Voghera – Piacenza	120	120
Rspot Milano Porta Garibaldi – Gallarate – Luino	60	0
Rspot Milano Porta Garibaldi – Treviglio - Bergamo	30	0
Rspot Milano Porta Garibaldi – Treviglio (prosegue come R6)	60	0
Rspot Milano Centrale – Pavia – Tortona – Novi Ligure	60	0
Rspot Milano Porta Genova – Mortara – Alessandria	60	0
Rspot (arriva come R18) – Molteno – Lecco	60	0

Tabella 10 - Modello di offerta R previsto per l'orario 2021 sulla rete RFI di Regione Lombardia

#### 4.1.2.3 Servizi S

I servizi suburbani sono caratterizzati da un cadenzamento con alta frequenza, quasi sempre pari a 30 minuti. Essi offrono un'offerta capillare sul territorio, fermando in tutte le località e sovrapponendosi l'un l'altro in entrata al nodo, così da moltiplicare la frequenza di passaggio nelle tratte urbane.

Si riportano di seguito, in Tabella 12, le relazioni S che operano sulla rete RFI e facenti parte del modello di offerta di Regione Lombardia.

A fronte di una completa esposizione del modello di offerta dei servizi R in Regione Lombardia, si riportano, a seguire, le relazioni Regionali non operanti sulla rete RFI.

<b>Relazione</b>
R3 Brescia – Iseo – Breno
R9 Rovato – Bornato – Iseo
R16 Asso – Milano
R17 Como – Saronno – Milano
R22 Laveno – Varese – Saronno – Milano
R24 Laveno – Sesto Calende
R27 Novara – Saronno – Milano
R28 Malpensa – Saronno – Milano

Tabella 11 - Relazioni R non operanti sulla rete RFI in Regione Lombardia

<b>Relazione</b>	<b>f. Punta [min]</b>	<b>f. Morb. [min]</b>
S1 Saronno – Milano Bovisa FN – Lodi	30	30
S2 Seveso – Milano Bovisa FN – Milano Rogoredo	30	30
S5 Varese – Treviglio	30	30
S6 Novara – Pioltello (prosegue su Treviglio nell'ora di punta)	30	30
S7 Milano Porta Garibaldi – Molteno – Lecco	60+rinf.	60
S8 Milano Porta Garibaldi – Carnate – Lecco	30	30
S9 Saronno – Seregno – Albairate	30	30
S10 Chiasso – Albate	60	60
S11 (Rho - ) Milano Porta Garibaldi - Como	30	30
S12 Cormano – Milano Bovisa FN – Melegnano	30	0
S13 Milano Bovisa FN – Pavia	30	30
S40 Albate – Mendrisio – Varese	60	60
S50 Bellinzona – Lugano – Varese – Malpensa T1	60	60

Tabella 12 - Modello di offerta dei servizi S operanti sulla rete RFI

Infine, si riportano per completezza i servizi S non operanti sulla rete RFI.

<b>Relazione</b>
S3 Saronno – Milano Bovisa FN – Milano Cadorna
S4 Camnago – Milano Bovisa FN – Milano Cadorna

Tabella 13 - Servizi S non operanti sulla rete RFI

In Figura 12 sono rappresentati tutti i servizi S operanti in Regione Lombardia, che sono previsti per l'orario di servizio 2021.

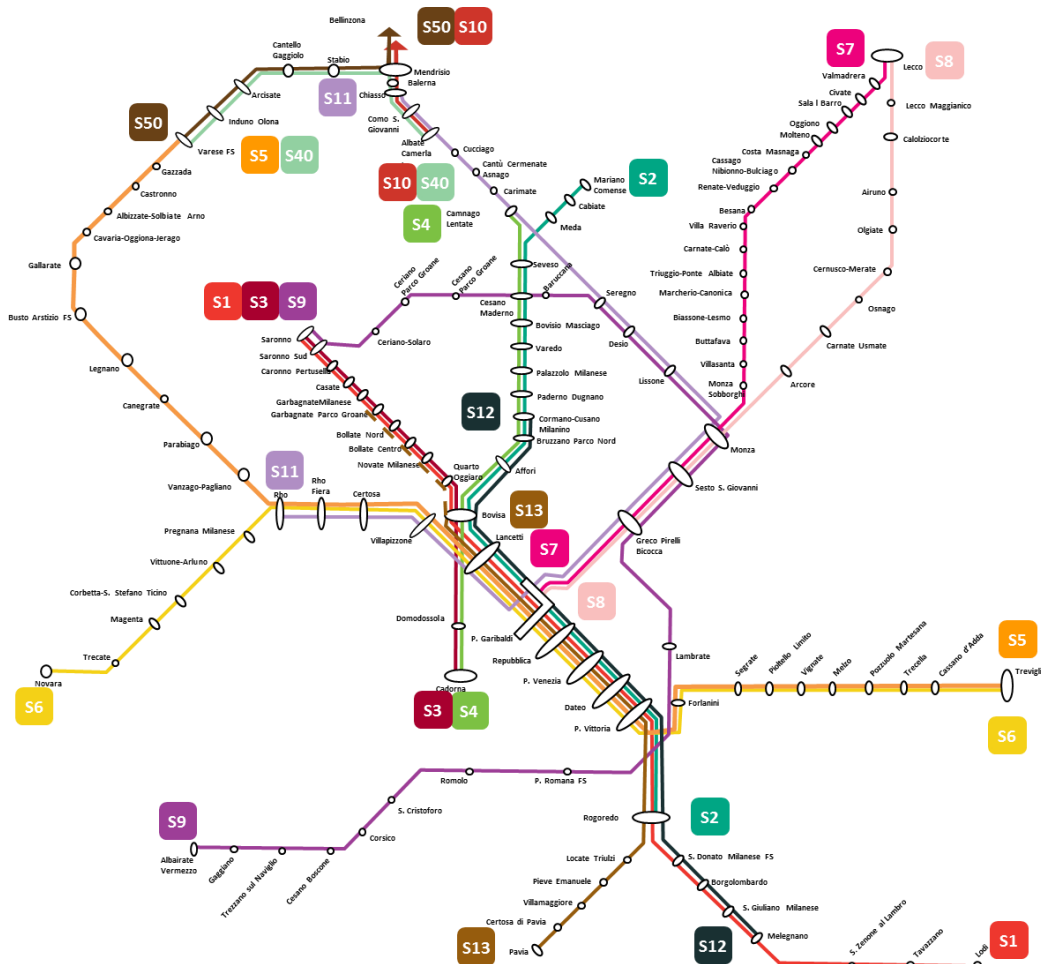


Figura 12 - Mappa schematica dei servizi S previsti con l'orario 2021

Per una visione più completa del modello di offerta del Nodo di Milano si riporta, a seguire, una rappresentazione di tutti i servizi del SFR.

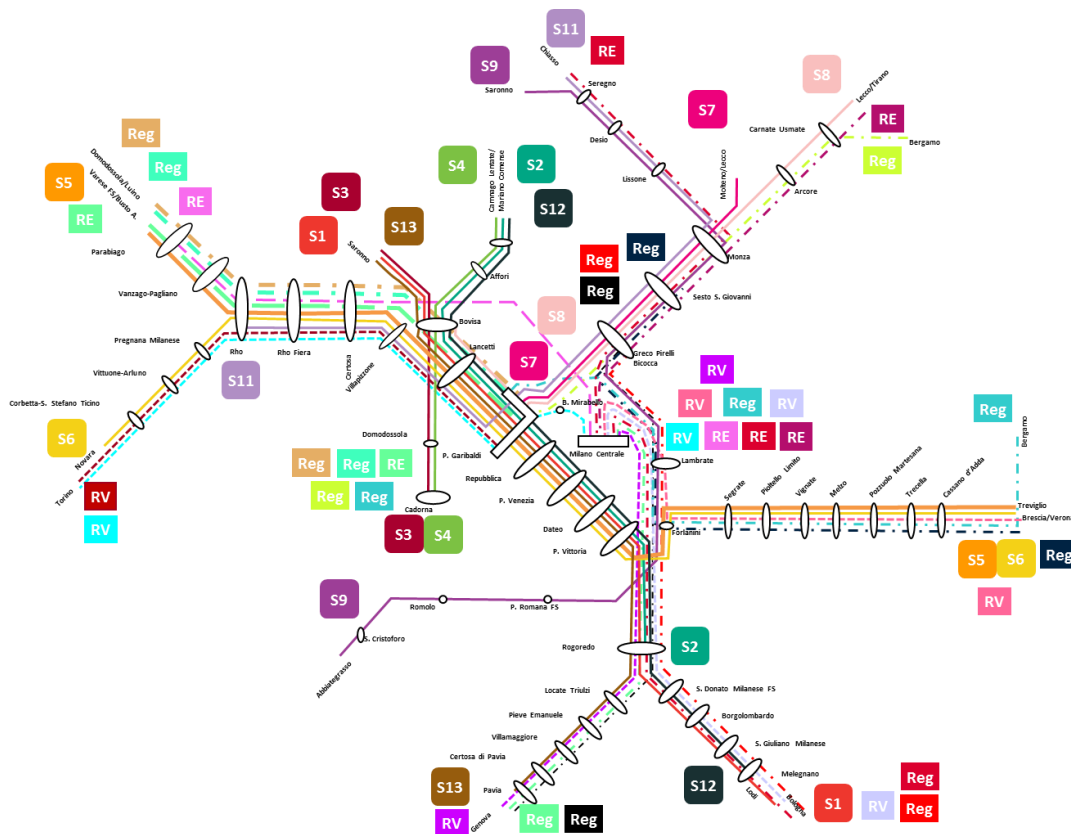


Figura 13 - Mappa del Servizio Ferroviario Regionale nel Nodo allargato di Milano

## 4.2 Modello di offerta merci attuale

L'offerta del servizio merci non è regolare e cadenzata come l'offerta del servizio passeggeri ed è, inoltre, suscettibile a forti variazioni delle relazioni a causa delle fluttuazioni di domanda nel settore industriale.

Queste caratteristiche rendono difficile l'assegnazione di una frequenza a tale categoria di servizi; per questo motivo, ai fini di una modellazione il più possibile verosimile, sono state definite delle tratte di percorso comuni a più relazioni, che legano un'origine a più destinazioni, attribuendo una frequenza di riferimento agli stessi pari al numero delle corse medie, su quella tratta, rispettivamente nell'ora di punta e di morbida. Non sono stati considerati eventuali picchi serali o notturni del traffico merci, in quanto lontani dalle fasce orarie nelle quali si vuole effettuare l'analisi capacitiva. Si riportano a seguire le caratteristiche, in termini di offerta, dei servizi insistenti sui tratti comuni di percorso nella rete RFI; Tabella 14.

Estremi	Corse/ora direzione principale		Corse/ora direzione opposta	
	Punta	Morb.	C. Punta	C. Morb.
(Novara -) - Treocate - Mi. Lambrate	1	1	1	1
Domo II - Premosello (- Novara)	1	1	1	1
Domo II - Gallarate	1	1	1	1
Luino - Sesto C. - Gallarate	0,5	1	0,5	1
Luino - Ternate - Gallarate	1	2	1	1
Domo II - Mi. Lambrate	0	1	0	1
Busto A. - Mi. Lambrate	0	1	0	0
Chiasso - Mi. Lambrate	3	3	3	3
Chiasso - Carimate / Desio	1	0,5	0,5	0
Chiasso - Lecco M.	0	0,5	0	0
Lecco M. - Mi. Lambrate	0	1	0	0
Lecco M. - Tirano	0	0,5	0	0
Mi. Smistamento - Verdello	0	0,5	0	0
Mi. Smistamento - Brescia	2	3	2	2
Mi. Smistamento - Melzo Scalo	1	1	1	1
Mi. Rogoredo - Cava Tigozzi - Cremona	1	2	1	1
Cremona - Mantova	1	1,5	1	1
Mi Rogoredo - Piacenza	0	2	0	0
Mi. Rogoredo - Tortona	1	3	1	1
Tortona - Piacenza	1	1	1	1
Mi. Lambrate - Mi. Smistamento	3	4	3	4
Mi. Lambrate - Mi. Rogoredo	1	4	1	1
Mi. Smistamento - Mi. Rogoredo	1	3	1	1

Tabella 14 - Modello di offerta attuale del servizio merci in Regione Lombardia e zone limitrofe

### 4.3 Modello di esercizio del Nodo di Milano

I servizi che compongono il modello di offerta sono assegnati agli elementi infrastrutturali secondo una programmazione che ottimizza l'utilizzo delle tratte e dei nodi presenti sulla rete. Questo permette di creare il modello di esercizio che, in una realtà complessa come quella del Nodo di Milano, può essere descritto nel seguente modo.

Gli elementi dell'infrastruttura sono schematizzati come nodi, rappresentanti gli impianti, interconnessi tra loro dalle tratte. È usuale, all'interno di un nodo, che due

---

località siano collegate tra loro da più itinerari alternativi; in questo caso il modello di esercizio indica la distribuzione dei flussi di traffico su ogni singola tratta. È utile distinguere, a livello schematico, le principali direttrici che escono dal Nodo di Milano, analizzando per ognuna di esse le relazioni che vi insistono.

#### *4.3.1.1 Direttrice Milano - Chiasso*

La linea in direzione Chiasso costituisce uno dei collegamenti tra la rete nazionale italiana e la rete delle Ferrovie Federali Svizzere (FFS). La linea Chiasso ha origine dalla stazione di Milano Centrale, per poi collegarsi con Milano Greco Pirelli, Sesto San Giovanni e Monza. Successivamente, in uscita dal nodo, si dirige in direzione Chiasso. Su tale linea sono istradati i servizi EC in direzione Zurigo, i RE per Sondrio e Chiasso, i servizi S in direzione Saronno e Chiasso, a partire da Milano Greco Pirelli, nonché i servizi merci diretti o provenienti da Chiasso.

Le relazioni per Sondrio divergono sulla linea Lecco nella stazione di Monza, mentre le altre sono istradate sulla linea Chiasso in uscita dal Nodo di Milano.

#### *4.3.1.2 Direttrice Milano – Lecco*

La linea Lecco ha origine dalla stazione di Milano Porta Garibaldi e permette il collegamento con le stazioni di Milano Greco Pirelli, Sesto San Giovanni e Monza. Nella radice nord di Monza questa linea si dirama in due diverse varianti di percorso in direzione Lecco: la “via Molteno”, a semplice binario, e la “via Carnate”, a doppio binario. Nella tratta Milano Porta Garibaldi – Milano Greco Pirelli la linea Lecco viene utilizzata dai servizi S7 e S8, per Lecco, dal suburbano per Como e dal Regionale per Bergamo. In corrispondenza dell’impianto di Milano Greco Pirelli, il suburbano diretto a Como viene deviato sulla linea Chiasso, mentre i servizi merci diretti a Lecco e provenienti da Milano Lambrate convergono sulla linea Lecco.

Al di fuori del nodo sulla linea Milano – Lecco via Molteno è istradato il servizio S7, mentre sulla linea Milano – Lecco via Carnate sono istradati i servizi RE per Sondrio, il regionale diretto a Bergamo, il suburbano S8 e le relazioni merci per Lecco.

#### *4.3.1.3 Direttrice Milano - Venezia*

La direttrice Milano – Venezia, ed in particolare la linea Venezia, ha origine dalla stazione di Milano Centrale. Questa linea, una volta raggiunto quadrivio Turro, permette il collegamento con Milano Lambrate, per poi quadruplicarsi in uscita dal nodo in direzione est.

Nella tratta tra Milano Centrale e quadrivio Turro, sulla linea Venezia, transitano solamente i servizi AV in direzione Venezia ed il Regio Express per Bergamo.

Superato quadrivio Turro, le relazioni istradate su tale linea sono quelle in direzione Venezia, la relazione AV non transitante da Milano Centrale e diretta a Roma, il RE per Bergamo ed i regionali diretti a Bergamo e Cremona.

Nella radice sud della stazione di Milano Lambrate tale linea si quadruplica uscendo dal Nodo di Milano. Sulla variante “lenta” (*LL*) transitano i servizi S5 e S6 fino a Pioltello, mentre nella variante “veloce” (*DD*) sono istradate le relazioni AV per Venezia, i servizi RE per Bergamo e Verona ed i due regionali precedentemente menzionati. I flussi di traffico si modificano una volta raggiunto Melzo Scalo, con la convergenza di tutte le relazioni merci dirette o provenienti da levante.

#### *4.3.1.4 Direttrice Milano - Bologna*

La direttrice Milano – Bologna ha origine dall’impianto di Milano Centrale con la linea Bologna, che permette il collegamento con le stazioni di Milano Lambrate e di Milano Rogoredo, per poi quadruplicarsi nella radice sud della stessa.

A tale linea sono assegnati tutti i servizi AV diretti e provenienti da Roma/Napoli e dalla Direttrice Adriatica, nonché il servizio RE diretto a Verona, il quale diverge sulla direttrice per Venezia a Milano Lambrate.

Le relazioni AV sono istradate sulla linea *DD* verso Bivio P.C. Melegnano insieme all’IC per Piacenza e l’RE in direzione Cremona. Sulla linea *LL*, in direzione Melegnano, vengono istradati i servizi Regionali Veloci per Bologna, i Regionali per Piacenza, i Suburbani in direzione Lodi e Melegnano, insieme alle relazioni merci per Cava Tigozzi e Piacenza.

#### *4.3.1.5 Direttrice Milano - Genova*

La linea Genova ha origine nell’impianto di Milano Centrale e permette il collegamento con la stazione di Milano Lambrate e, a seguire, con Milano Rogoredo. In uscita dal nodo tale linea si dirige verso Pavia, Tortona, per poi proseguire verso Alessandria e Genova. Su tale linea sono istradate le relazioni IC per Ventimiglia e Piacenza, l’RV per Bologna, i RE in direzione Cremona e Tortona, così come la relazione regionale per Tortona. Inoltre, la relazione ES per la direttrice Adriatica è impostata sulla linea Genova, per poi essere deviata sulla linea Bologna *DD* in radice sud di Milano Rogoredo.

In uscita dal nodo, in direzione Pavia, la direttrice è interessata da tutti i servizi diretti verso la Liguria sopra descritti, insieme al regionale per Stradella, l’S13 per Pavia e dalla relazione merci per Tortona.

---

#### *4.3.1.6 Linea Milano - Mortara*

La linea Milano - Mortara realizza il collegamento tra il Nodo di Milano, delimitato dalla stazione di Milano San Cristoforo, e la città di Mortara.

Su questa linea insistono le relazioni regionali Milano Porta Genova – Mortara, con rinforzi su Alessandria, e il suburbano S9 proveniente dalla linea Cintura.

#### *4.3.1.7 Passante Ferroviario*

Costruita per la maggior parte del tracciato in sotterraneo, il Passante Ferroviario di Milano è un'infrastruttura nella quale convergono le relazioni per Treviglio e Milano Rogoredo, a sudest, e quelle per Milano Bovisa e Rho a nordovest.

I servizi S5 e S6 per Varese e Novara da Bivio Lambro sono indirizzati nel Passante per poi essere deviati, nella stazione di Milano Lancetti, verso Milano Certosa.

I servizi S1, S2, S12 e S13 da Milano Rogoredo percorrono il Passante per poi essere istradati verso Milano Bovisa.

#### *4.3.1.8 Collegamenti con la rete di FERROVIENORD*

All'interno del nodo di Milano sono presenti due collegamenti tra la rete FERROVIENORD e la rete RFI: il collegamento Milano Bovisa – PM Ghisolfi ed il collegamento Milano Bovisa – Milano Lancetti.

Il primo è percorso dal Regio Express diretto a Malpensa T2, mentre sul secondo sono istradati i suburbani S1, S2, S12 e S13 rispettivamente in direzione Lodi, Milano Rogoredo, Melegnano e Pavia.

#### *4.3.1.9 Linea Cintura*

La linea Cintura permette il collegamento tra Milano Certosa, Milano Greco Pirelli e Milano Lambrate, per poi proseguire verso Milano Rogoredo e Milano San Cristoforo, consentendo quindi il passaggio dal quadrante nordovest al sudest e aggirando la stazione di Milano Centrale.

Le relazioni merci provenienti da Novara, Busto Arsizio e Domo II sono istradate, a partire dalla stazione di Milano Certosa, sulla linea Cintura in direzione quadrivio Turro. Sulla stessa linea si aggiungono le relazioni regionali dirette a Cremona e Bergamo in corrispondenza di Bivio Musocco. A quadrivio Turro le relazioni merci dirette a Milano Smistamento vengono istradate sulla linea Merci, mentre le relazioni regionali proseguono sulla linea Venezia, lungo la quale transitano i servizi AV e RE provenienti da Milano Centrale o dalla linea Viaggiatori e diretti sulle direttrici Milano – Venezia e Milano – Roma.



A sud della stazione di Milano Lambrate sono istradati i servizi regionali in direzione Piacenza e Stradella, il servizio S9, nonché la relazione merci diretta sulla direttrice Milano – Genova. Nella località di PM Trecca tali servizi sono indirizzati verso la stazione di Milano Rogoredo, con l’aggiunta di un servizio merci proveniente da Milano Smistamento, mentre il Suburbano Albairate – Saronno viene istradato in direzione Milano San Cristoforo.

A supporto della Cintura di Milano è presente la linea Merci, la quale realizza il collegamento tra Milano Greco Pirelli - Milano Lambrate - Milano Smistamento, e quello tra Milano Smistamento – PM Trecca – Milano Rogoredo.

#### *4.3.1.10 Direttrice Milano - Torino*

La direttrice Milano – Torino possiede due varianti che possono essere percorse; sono infatti presenti l’infrastruttura AV/AC e la linea “tradizionale”. Inoltre, limitatamente alla tratta Rho – Milano Certosa, all’interno del nodo, esiste un’ulteriore linea che si collega al Nodo di Milano.

Sulla linea AV/AC sono istradati tutti i servizi AV delle relazioni Milano – Torino, per Milano Centrale. Ad eccezione del servizio AV Torino – Milano Porta Garibaldi – Roma, il quale non effettua la fermata a Milano Centrale; questo servizio percorre la linea AV/AC per poi essere deviato in direzione Milano Porta Garibaldi nella radice Est di Milano Certosa.

La linea Novara, ovvero il collegamento tradizionale verso Torino, è interessata dai servizi Regionali Veloci Milano – Torino, i quali attestano sia a Milano Centrale che a Milano Porta Garibaldi, dal Suburbano S6 e dalle relazioni merci dirette o provenienti da Novara.

Sulla linea Varese, che diverge nella stazione di Rho proseguendo in direzione Gallarate, sono istradati i seguenti servizi:

- EC Milano – Domodossola;
- RE Milano – Domodossola;
- RE Milano – Varese/Porto Ceresio;
- R Milano – Arona/Domodossola;
- R Milano – Luino;
- S5 Treviglio – Varese;
- Merci Milano – Domo II;
- Merci Milano – Busto Arsizio.

All’interno del nodo, dopo la stazione di Rho, alcuni di questi servizi cambiano il proprio percorso, caricando maggiormente la linea Novara. In aggiunta, è presente il suburbano S11 con i suoi rinforzi, nella tratta Milano Porta Garibaldi – Rho.

Si riporta a seguire uno schema semplificato del Nodo allargato di Milano dove sono evidenziate le principali direttrici sopra descritte.

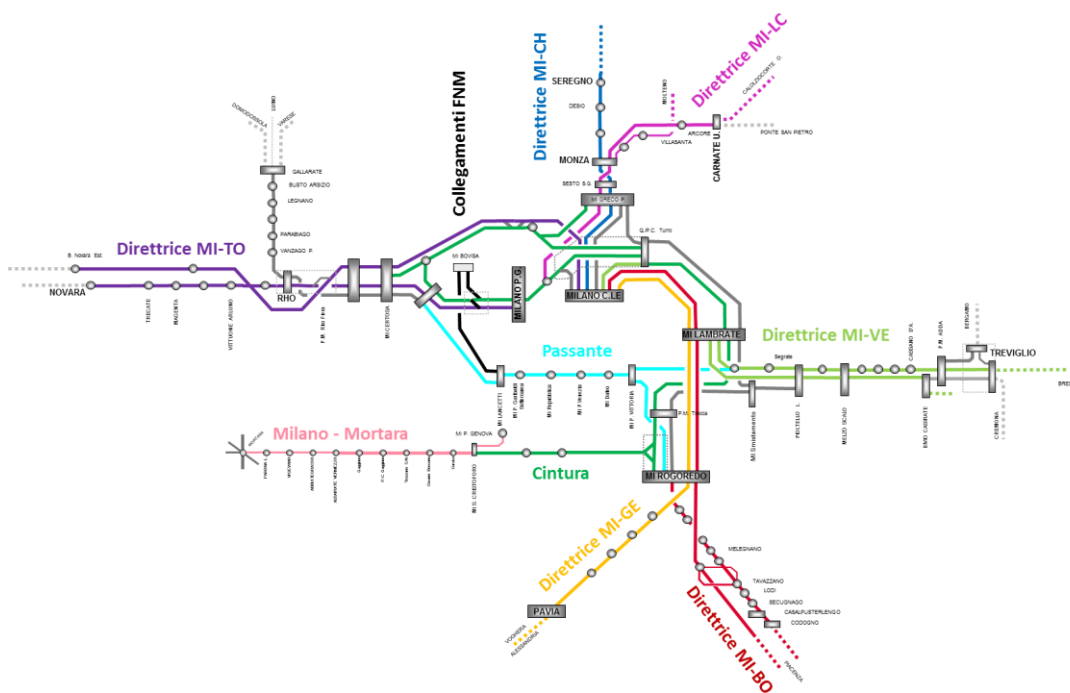


Figura 14 - Principali direttrici e linee del Nodo di Milano; mappa semplificata

## 4.4 Sviluppi del modello di offerta

L'orario di servizio 2021 (dicembre 2020 – dicembre 2021), definito come scenario di partenza di questo elaborato, vede già applicati alcuni potenziamenti d'offerta, rispetto al modello attuale, su cui è opportuno fare alcune considerazioni.

L'accordo "dei Castelli", di cui si è parlato al paragrafo 2.2, vede il mese dicembre 2020 come una scadenza di particolare rilevanza; infatti, entro tale data si prevede siano potenziati alcuni servizi merci nonché il servizio EC Milano – Zurigo.

Per quanto riguarda il servizio di Lunga Percorrenza EC, la frequenza dovrebbe essere incrementata nella fascia di punta, garantendo almeno dieci tracce al giorno con tempo di percorrenza inferiore alle tre ore.

Per quanto concerne invece il traffico merci, questo dovrebbe essere potenziato permettendo l'incremento di tracce sulle direttrici transfrontaliere nell'ora di punta; in particolare:

- sulla direttrice Milano – Domo II, tre tracce per direzione;

- sulla direttrice Milano – Luino, due tracce nella direzione pari e tre tracce nella direzione dispari;
- sulla direttrice Milano – Chiasso, quattro tracce per direzione.

In riferimento ai flussi dei servizi a mercato sulla dorsale Milano – Roma/Napoli, si prevedono i seguenti potenziamenti, in attuazione di quanto sottoscritto con le imprese ferroviarie nei rispettivi Accordi Quadro:

- quattro coppie/ora con l’aggiunta del servizio diretto Torino – Roma per Trenitalia;
- due coppie/ora per Italo – NTV.

Ulteriori potenziamenti d’offerta relativi al segmento merci e viaggiatori Lunga Percorrenza non possono essere ipotizzati per l’orario 2021 a parità di scenario infrastrutturale, a causa della quasi saturazione di alcune tratte di nodo.

Possono invece essere attuati alcuni potenziamenti al modello di offerta del Servizio Ferroviario Regionale, prospettando gli interventi previsti nell’Allegato D dell’Accordo Quadro sottoscritto tra RFI e Regione Lombardia.

A seguire si esporranno i cambiamenti del modello di offerta considerati con orizzonte temporale 2026 ed oltre.

#### **4.4.1 Sviluppi del modello di offerta previsti al 2026**

Gli sviluppi del modello di offerta previsti entro l’anno 2026 riguardano i servizi di Lunga Percorrenza e il Servizio Ferroviario Regionale. Come già espresso, la quasi saturazione dei valichi transfrontalieri non consente l’incremento dei traffici merci, in termini di tracce aggiuntive giornaliere. È altrettanto vero che sono in previsione alcuni interventi di potenziamento infrastrutturale che riguardano le direttrici Milano – Chiasso e Milano – Luino, che consentiranno l’efficientamento di tali linee aumentando il modulo di linea, nonché la massa assiale ammessa. Questi interventi permetteranno un naturale incremento delle merci trasportate senza aumentare il numero di tracce.

##### *4.4.1.1 Lunga percorrenza*

Con orizzonte temporale 2026, in accordo con le previsioni di sviluppo dei futuri AQ, si ipotizza un incremento dell’offerta di trasporto sulla tratta Milano – Roma/Napoli esercita dalla società Italo – NTV a tre coppie/ora. L’attuale offerta della società Trenitalia, i cui volumi sono già molto importanti, resta invariata nel medio termine. Inoltre, è poi stata fatta divergere la relazione Milano – Adriatica via Piacenza, la quale è

---

stata impostata sulla linea AV/AC Milano – Bologna fino all’interconnessione di Piacenza.

#### 4.4.1.2 Servizio Regionale

La maggioranza degli interventi di potenziamento dell’offerta, con orizzonte temporale l’anno 2026, è riferita al Servizio Ferroviario Regionale.

1. Potenziamento della tratta Rho – Parabiago. Il quadruplicamento della tratta Rho – Parabiago consente il potenziamento dell’offerta regionale, con l’istituzione di due nuove relazioni suburbane e con il prolungamento del servizio S11 fino a Parabiago.

Il dettaglio degli interventi è riportato sinteticamente nella Tabella 15.

<b>Relazione</b>	<b>Estremi</b>	<b>Modifica</b>
S5	Varese – Treviglio	Assegnazione della nuova fermata Nerviano
S11	Como San Giovanni – Parabiago	Prolungamento fino a Parabiago con frequenza 30 minuti e assegnazione della nuova fermata Nerviano
S14	Milano Rogoredo – Magenta	Istituzione con frequenza 30 minuti
S15	Milano Rogoredo – Parabiago	Istituzione con frequenza 30 minuti e assegnazione della nuova fermata Nerviano

Tabella 15 - Modifiche del modello di offerta dovute all’intervento 1 previste nello scenario 2026

2. Collegamento Gallarate – Malpensa T2. L’attivazione del nuovo collegamento tra la stazione di Gallarate e il Terminal 2 dell’aeroporto di Malpensa permette la diversione del servizio RE Malpensa Express via Rho Fiera - Gallarate, piuttosto che via Saronno come avviene attualmente.
3. Potenziamento Molteno. La sostituzione del blocco di tutta la tratta Monza – Molteno – Lecco, con attivazione del BCA in sostituzione dell’attuale BEM, consentirà di potenziare la frequenza del servizio S7, Milano Porta Garibaldi – Lecco (via Molteno), a 30 minuti.
4. Potenziamento Genova. Il quadruplicamento della tratta Milano Rogoredo – Pieve Emanuele permette il prolungamento del suburbano S2 Seveso – Milano Rogoredo, fino a Pieve Emanuele.

5. Chiusura Milano Porta Genova. La dismissione della stazione di Milano Porta Genova rende necessarie alcune modifiche al modello di offerta, sinteticamente riportate nella Tabella 16.

Relazione	Estremi	Modifica
R31	Milano Rogoredo – Mortara	Diversione su Milano Rogoredo, con raddoppio della frequenza
R31 <i>pros.</i>	Prosecuzione Mortara - Alessandria	Stabilizzazione oraria
S9	Saronno – Albairate	Assegnazione fermata Tibaldi

Tabella 16 - Modifiche del modello di offerta dovute all'intervento 5 previste nello scenario 2026

6. Piano Regolatore Generale di Milano Porta Garibaldi. La realizzazione del nuovo PRG della stazione di Milano Porta Garibaldi consente di far divergere le relazioni regionali *spot* che attestano in questa stazione, sulla linea Cintura fino a PM Ghisolfa.
7. *Circle Line*. Consiste nell'istituzione del Suburbano di Cintura, denominato S16 Abbiategrasso – Parabiago, al quale vengono assegnate le nuove fermate di Dergano ed Istria, collocate sulla Cintura Nord del nodo.
8. Nuove fermate da Accordo di Programma (AdP). Come previsto nel documento in questione, saranno assegnate le nuove fermate di Dergano e Istria anche alle relazioni *spot* Milano Porta Garibaldi – Bergamo e Milano Porta Garibaldi – Treviglio, con prolungamento di quest'ultima in direzione Cremona come R6.

In Figura 15 sono evidenziate le principali modifiche al modello di offerta del Servizio Ferroviario Regionale previste entro l'anno 2026.

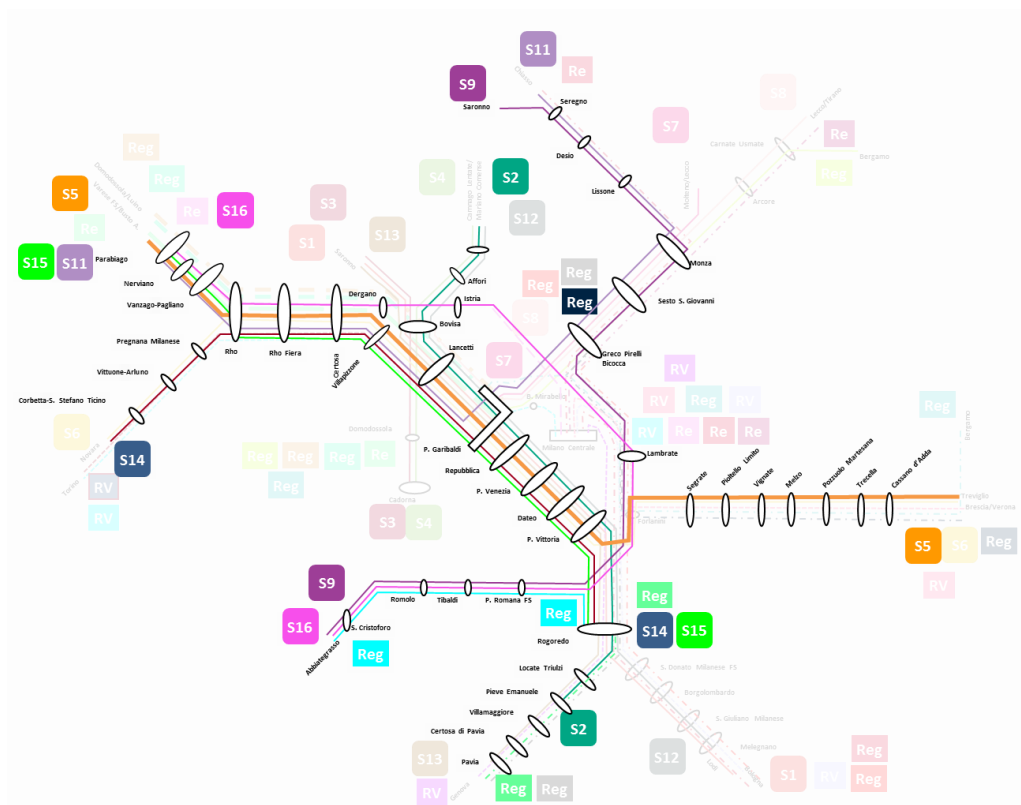


Figura 15 - Modifiche del modello di offerta previste entro l'anno 2026 rispetto al modello di offerta dello scenario di partenza (orario 2021)

#### 4.4.2 Sviluppi del modello di offerta previsti nello scenario “oltre 2026”

Il modello di offerta varia ulteriormente una volta completati gli ulteriori potenziamenti infrastrutturali previsti per lo sviluppo del Nodo ferroviario di Milano e della rete ad esso afferente. Tali modifiche sono riferite esclusivamente al Servizio Ferroviario Regionale, mentre restano invariati i modelli di offerta per il servizio merci e per il servizio di Lunga Percorrenza, come già specificato nel paragrafo precedente.

1. Potenziamento Bergamo. Il raddoppio della tratta Bergamo – Ponte San Pietro, e successiva fase di raddoppio fino a Montello, consente di potenziare i servizi regionali verso Milano e Lecco, variando la stazione di attestamento. In Tabella 17 sono riportati gli interventi di dettaglio.

Relazione	Estremi	Modifica
S18 (R14)	Milano Porta Garibaldi – Montello	Prolungamento fino a Montello e trasformazione in servizio di tipo S
R7	Lecco – Bergamo – Montello	Prolungamento fino a Montello
R	Ponte San Pietro – Montello	Istituzione con frequenza 60 minuti

Tabella 17 - Modifiche del modello di offerta dovute all'intervento 1 previste nello scenario oltre 2026

2. Potenziamiento Mantova. Il raddoppio della linea Codogno – Mantova nella tratta Codogno – Piadena consente la modifica dell'offerta regionale, nonché il potenziamento del servizio diretto Milano – Mantova. Gli interventi di dettaglio sono di sotto riportati.

Relazione	Estremi	Modifica
R40	Cremona – Casalmaggiore	Diversione su Casalmaggiore
RE11	Milano Centrale – Mantova	Raddoppio della frequenza a 60 minuti

Tabella 18 - Modifiche del modello di offerta dovute all'intervento 2 previste nello scenario oltre 2026

3. Nuove fermate da Accordo di Programma. La realizzazione delle nuove fermate Stephenson e Mind, collocate sulla linea Varese nella tratta Milano Certosa – Rho Fiera, consente lo sviluppo di un'offerta di trasporto spinta e pervasiva per tutti i servizi Suburbani che vi transitano. L'elenco dei servizi ai quali vengono assegnate le due nuove fermate è riportato in Tabella 19.

Rel.	Estremi	Modifica
S5	Varese – Treviglio	Assegnazione fermate Stephenson e Mind
S6	Novara – Treviglio	Assegnazione fermate Stephenson e Mind
S11	Milano Porta Garibaldi - Parabiago	Assegnazione fermate Stephenson e Mind
S14	Milano Rogoredo - Magenta	Assegnazione fermate Stephenson e Mind
S15	Milano Rogoredo – Parabiago	Assegnazione fermate Stephenson e Mind
S16	Abbiategrosso – Parabiago	Assegnazione fermate Stephenson e Mind

Tabella 19 - Modifiche del modello di offerta dovute all'intervento 3 previste nello scenario oltre 2026

In conclusione, si riporta una rappresentazione schematica del modello di offerta previsto oltre l'anno 2026, ove sono evidenziati tutti i servizi che presentano variazioni rispetto allo scenario con orizzonte temporale 2026.

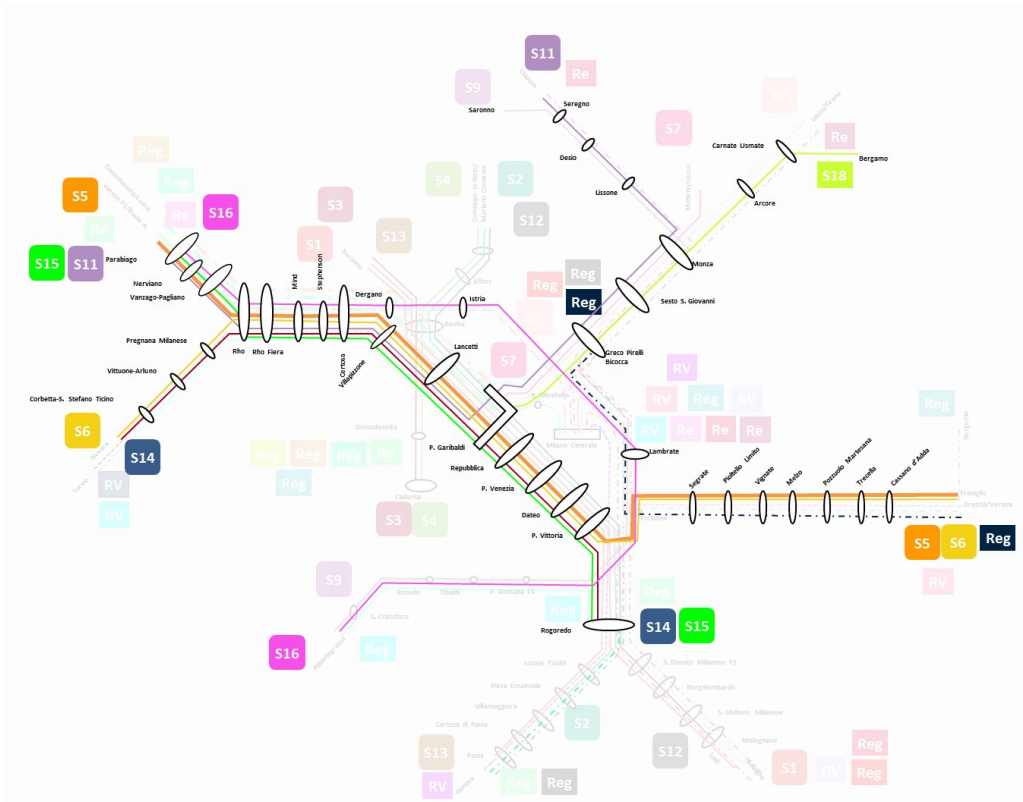


Figura 16 - Modifiche del modello di offerta previste oltre l'anno 2026 rispetto al modello di offerta dello scenario 2026



---

## 5

# Genesi del tracciato ferroviario del Passante AV di Milano

Il Nodo di Milano, a causa dell'elevato numero di direttrici che in esso confluiscono, si presenta come un'infrastruttura complessa che necessita di ottimizzazioni tecnologiche e funzionali, in modo tale che la rete ferroviaria, nella sua configurazione potenziata, sia in grado di rispondere alla futura domanda di mobilità.

Per soddisfare l'esigenza di nuovi itinerari nel nodo di Milano, già espressa nel Capitolo 1 e, riferendosi alla letteratura, già nel 2001, Cassino *et al.* [8], esponevano l'ipotesi del "Secondo Passante Ferroviario".

Tale infrastruttura, nella visione di quegli anni, avrebbe dovuto rappresentare la chiusura, sul lato occidentale, delle linee di Cintura, realizzando un collegamento sotterraneo tra le stazioni di Milano Certosa e Milano Porta Romana. L'evoluzione delle esigenze del trasporto, in particolar modo dei servizi a mercato, porta a privilegiare le relazioni AV come traffico da assegnare al Secondo Passante Ferroviario, da qui in avanti denominato "Passante AV".

In questo capitolo si esporranno le scelte quantitative effettuate per la definizione del tracciato di massima della nuova infrastruttura oggetto di questo elaborato. È necessario precisare che questo studio non riguarda né la progettazione infrastrutturale degli elementi che compongono il Passante AV, né, tantomeno, del suo tracciato plano-altimetrico, ma focalizza la trattazione sulle modifiche dell'esercizio ferroviario del Nodo di Milano conseguentemente alle progressive attivazioni infrastrutturali previste e descritte in questo capitolo. Tuttavia, si ritiene opportuno

---

presentare alcuni parametri di massima, usati nel disegno del percorso indicativo del Passante AV, ai soli fini di giustificare con buonsenso le scelte attuate.

La densa urbanizzazione dell'area metropolitana di Milano rende necessario lo sviluppo in sotterraneo dell'opera per la maggior parte del tracciato. La geologia del suolo, congiuntamente all'elevata profondità da raggiungere al fine di non interferire con le attuali linee metropolitane o fondazioni di edifici di elevata altezza, suggeriscono la realizzazione della nuova infrastruttura mediante frese scutate, in gergo TBM<sup>8</sup>. Queste considerazioni sono da ritenersi indicazioni di massima che esulano da computi di tipo geotecnico.

È possibile suddividere le progressive fasi di realizzazione del progetto del Passante AV in due macro-categorie:

- attivazioni iniziali: comprendono i primi tre rilasci infrastrutturali che interessano la tratta strettamente urbana del Passante AV di Milano, con previsione di attivazione in un orizzonte temporale di lungo periodo, oltre l'anno 2026;
- attivazioni successive: consistono in due ulteriori fasi di attivazione infrastrutturale che interessano i collegamenti in ingresso al nodo, lato est e sudest, in modo tale da rendere la nuova infrastruttura completamente indipendente rispetto alle tratte di nodo.

## **5.1 Parametri infrastrutturali**

### **5.1.1 Elementi plano-altimetrici**

Le scelte di base per la modellazione del tracciato plano-altimetrico del Passante AV di Milano, come si è detto, mirano a ridurre al minimo i conflitti con le infrastrutture presenti, rispettando i vincoli imposti dalla morfologia delle opere sotterranee.

Con riferimento alla porzione di tracciato che attraversa il tessuto urbano, ho scelto di prediligere un tracciato ferroviario in sotterraneo e posto al di sotto dell'esistente

---

<sup>8</sup> Acronimo inglese di: *Tunnel Boring Machine*. Fresa meccanica a piena sezione utilizzata per lo scavo di gallerie. La modalità EPB (*Earth Pressure Balance*) è fortemente indicata per lo scavo di opere in materiale sciolto e sottofalda, condizioni tipiche della geologia di Milano. Tale metodologia è stata impiegata per la realizzazione della linea metropolitana M4.

itinerario ferroviario del Nodo di Milano<sup>9</sup>, così da ridurre i conflitti con le fondazioni profonde dei nuovi edifici e da minimizzare i monitoraggi per il controllo della stabilità del piano campagna. In prossimità di intersezioni con le linee metropolitane, il tracciato del Passante AV dovrà essere sempre il più profondo.

Ciò vale soprattutto per la porzione di infrastruttura che collegherà le stazioni sotterranee di Milano Centrale AV e Milano Porta Garibaldi AV. Il tracciato del Passante AV, in quel punto, dovrà necessariamente portarsi ad una profondità maggiore, così da non interferire con le linee metropolitane presenti a Garibaldi (M2 e M5), nonché con il Passante Ferroviario; inoltre, la densa urbanizzazione di tale area impedisce la realizzazione di un tracciato troppo superficiale.

Altro vincolo plano-altimetrico è costituito dalle fondazioni profonde degli edifici in prossimità della stazione di Milano Porta Garibaldi.

La velocità di percorrenza della porzione del Passante AV che si sviluppa in area metropolitana è fissata a 110 km/h per il rango C, analogamente a quanto avviene nel Passante di Bologna; di conseguenza, il raggio planimetrico minimo del tracciato non dovrà essere inferiore a 500<sup>10</sup> metri.

Per quanto riguarda la porzione di tracciato in ingresso al Nodo di Milano, lato est e sudest, questa sarà realizzata, per la maggiore parte del suo sviluppo, in superficie, portandosi in sotterraneo solo nelle vicinanze dell'idroscalo.

I vincoli in questo caso risiedono nella presenza diffusa di centri abitati di piccole e medie dimensioni, di corsi d'acqua e di infrastrutture viarie già presenti, come autostrade e linee ferroviarie.

Le tratte che consentono l'innesto diretto del Passante AV nelle due direttrici AV Milano – Bologna e Milano – Brescia dovranno avere caratteristiche planimetriche tali da consentire una velocità di percorrenza di 250 km/h, pari a quella presente in prossimità dei POC<sup>11</sup>.

---

<sup>9</sup> Questa scelta è già stata adottata per la realizzazione del Passante di Bologna.

<sup>10</sup> Questo valore deriva dal calcolo della velocità di tracciato riportato nel testo [33]

$$v_{tc} = 3,6 \sqrt{\frac{0,160 \cdot 9,81}{1,5} + 1\sqrt{R}}$$

<sup>11</sup> Acronimo di: Posto di Confine, punto nel quale si effettua il cambio di tensione di alimentazione dalle linee tradizionali a quelle AV/AC e viceversa.

---

### 5.1.2 Attrezzaggio tecnologico

Al fine di garantire un distanziamento di quattro minuti nelle tratte del Passante AV, ho scelto di attrezzare l'infrastruttura con un impianto di blocco dotato di sezioni normalmente ridotte da 900 metri. Ipotizzo un sistema di distanziamento ERTMS/ETCS di Livello 2, così da permettere la circolazione all'interno del Passante AV mediante Blocco Radio [9].

Questa assunzione è coerente con i futuri sviluppi dell'attrezzaggio tecnologico del Nodo di Milano, che prevede la sovrapposizione della stessa tecnologia a quella attuale, su tutte le principali direttrici.

## 5.2 Attivazioni infrastrutturali iniziali

Le prime fasi di realizzazione della nuova infrastruttura interessano l'area metropolitana del Nodo di Milano e consentono, al termine di tre successivi *step* di rilascio, un collegamento passante sulla direttrice est-ovest. La lunghezza complessiva della nuova linea, relativa alla somma delle tre attivazioni, ammonta a circa 12.400 metri. A seguire saranno descritte nel dettaglio le attivazioni infrastrutturali iniziali.

### 5.2.1 Fase 1

La prima fase di realizzazione del Passante AV determina il collegamento tra Bivio Taverna, posizionato sulla linea Bologna nella tratta Milano Lambrate – Milano Rogoredo alla chilometrica 5+840 provenendo da Milano Centrale, e la nuova stazione sotterranea di Milano Centrale AV. Lo sviluppo complessivo del tracciato è di circa 5.460 metri, percorribile in circa quattro minuti.

Il Passante AV sarà collegato alla linea Bologna, nella tratta Milano Rogoredo – Milano Lambrate, mediante il ripristino del preesistente Bivio Taverna, oggi dismesso, con la realizzazione di due deviate a 100 km/h, al fine di ridurre i perditempo di percorrenza.

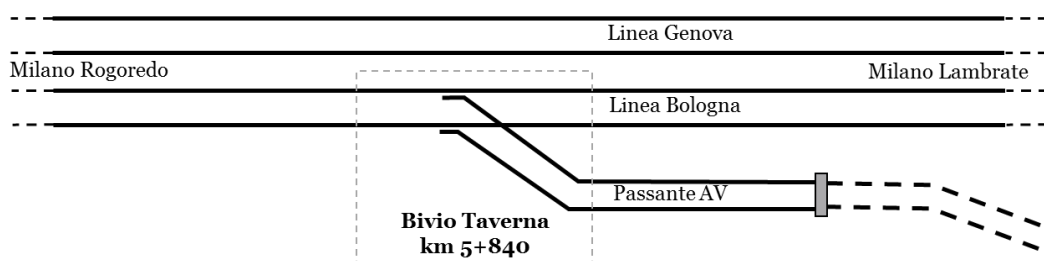


Figura 17 - Ripristino di Bivio Taverna per l'ingresso nel Passante AV dalla linea Bologna

Il piano del ferro in tale punto è posto ad una quota di 117 metri s.l.m.; la nuova adduzione consentirà l'istridamento dei treni all'interno del Passante AV, il quale avrà inizio a valle del bivio. Il primo vincolo altimetrico è costituito dalla linea Merci PM Trecca – Milano Smistamento, il cui piano del ferro si trova alla quota di 109 metri s.l.m. e che il Passante AV deve necessariamente sotto attraversare, avendo a disposizione 800 metri per poter colmare questo dislivello.

Avendo scelto di dedicare il Passante AV ai servizi a mercato, è possibile forzare la pendenza della livelletta fino a valori del 25 per mille, raggiungendo la quota di 97 metri s.l.m. nello spazio che si ha a disposizione in sito.

Il tracciato prosegue poi in galleria artificiale nel tratto sottostante Via Leonardo Bistolfi, fino al raggiungimento di una profondità adeguata all'inizio dell'avanzamento con la fresa scudata, la quale necessita, nei tratti di imbocco, di operare in un materiale della matrice sciolta geo preparato. Successivamente, il Passante AV si porta sotto l'attuale tracciato ferroviario nella tratta Milano Lambrate – Milano Centrale, fino alla stazione di Milano Centrale AV.

Si riporta a seguire una rappresentazione relativa all'attivazione infrastrutturale di Fase 1.

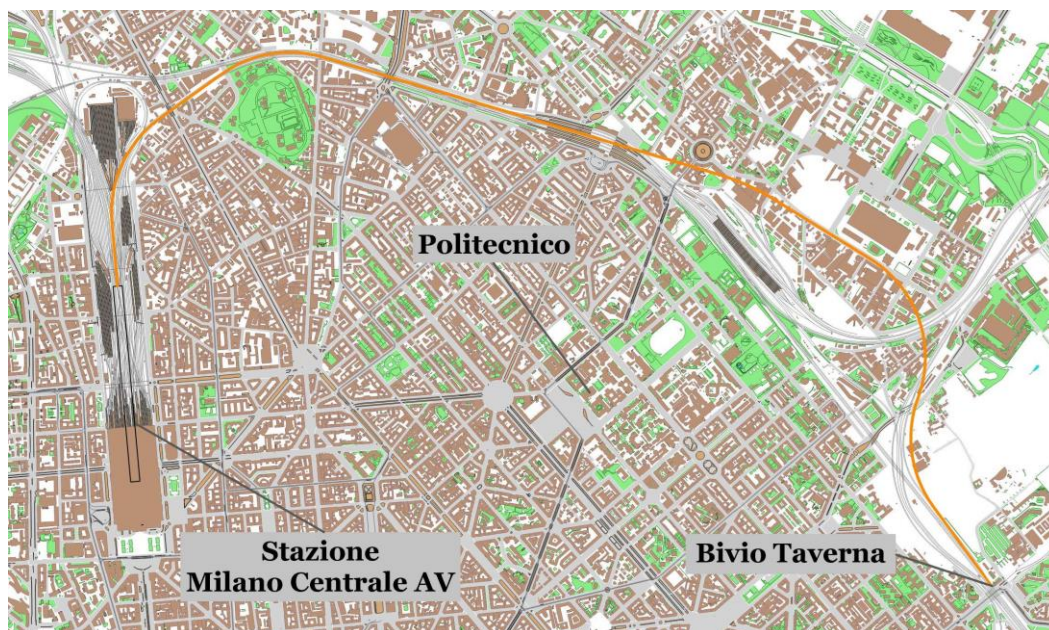


Figura 18 - Attivazioni infrastrutturali di fase 1

Per completezza d'informazione, si evidenzia che è stata analizzata un'ulteriore variante relativa all'attivazione infrastrutturale di Fase 1, che prevede l'ingresso nel Passante AV poco prima della chilometrica 7+290 della linea Bologna, provenendo da Milano Centrale. In questa ipotesi, l'ingresso nella nuova infrastruttura non comporta tagli tra i flussi durante la circolazione grazie alla realizzazione di uno scavalco tra il binario dispari

---

della linea Bologna ed i binari del Passante AV, i quali sono posti in corretto tracciato con quelli della linea Bologna in radice nord di Milano Rogoredo, come rappresentato nello schema funzionale a seguire.

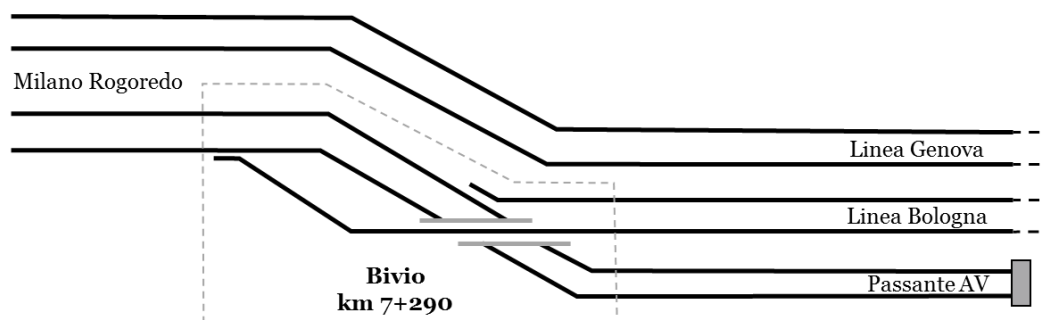


Figura 19 - Schema funzionale relativo alla variante della Fase 1

La ridotta disponibilità di spazio in loco rende difficilmente realizzabile questa variante. Con riferimento all'analisi capacitiva, sviluppata nel Capitolo 9, questa configurazione non permette alcun beneficio capacitivo dei segmenti di linea rispetto alla variante originale, se non per l'eliminazione delle interferenze di taglio generate da Bivio Taverna. Sulla base della non criticità di tali interferenze e di quanto detto, scelgo di non portare questa variante infrastrutturale negli scenari di attivazione infrastrutturale successivi alla Fase 1.

Per quanto riguarda la realizzazione della stazione sotterranea di Milano Centrale AV, essa è stata dimensionata per soddisfare le necessità di esercizio delle attivazioni successive, che impongono la costruzione di sei binari, quattro dei quali destinati agli attestamenti o alle precedenze e due destinati al transito.

La quota del piano del ferro deve essere posta circa 30 metri<sup>12</sup> al di sotto del piano campagna, così da non creare interferenze con le due linee della metropolitana (M2 e M3) presenti in loco, ed evitare problematiche di instabilità superficiale durante gli scavi. Ho ritenuto opportuno prevedere un collegamento con la superficie al fine di garantire lo svincolo del materiale rotabile dal Passante AV per l'effettuazione delle operazioni manutentive. Questa esigenza può essere soddisfatta con varie soluzioni. La prima consiste nella realizzazione di una bretella di collegamento con l'impianto di Martesana, dove oggi vengono effettuate le operazioni di manutenzione del materiale rotabile di Trenitalia. Questo collegamento, situato in radice nord della stazione di Milano Centrale AV, risulterebbe in ogni caso utile anche per le altre Imprese Ferroviarie, in quanto elemento di svincolo dai binari del Passante AV.

Un'altra soluzione, attuabile solo a seguito dei rilasci infrastrutturali di Fase 3, consisterebbe nella realizzazione di un binario tronco al Fascio Merci di Milano Certosa, raggiungibile in uscita dalla nuova infrastruttura. Questa soluzione risulta tuttavia più critica della precedente perché determina un taglio a raso al limite della sostenibilità e, in ogni caso, come si è detto, non è realizzabile fin dalla Fase 1.

Tutte le deviate di Milano Centrale AV devono essere previste a 60 km/h, salvo quelle delle comunicazioni in direzione del deposito, sufficienti a 30 km/h.

Si riporta di seguito lo schema funzionale d'impianto della nuova stazione.

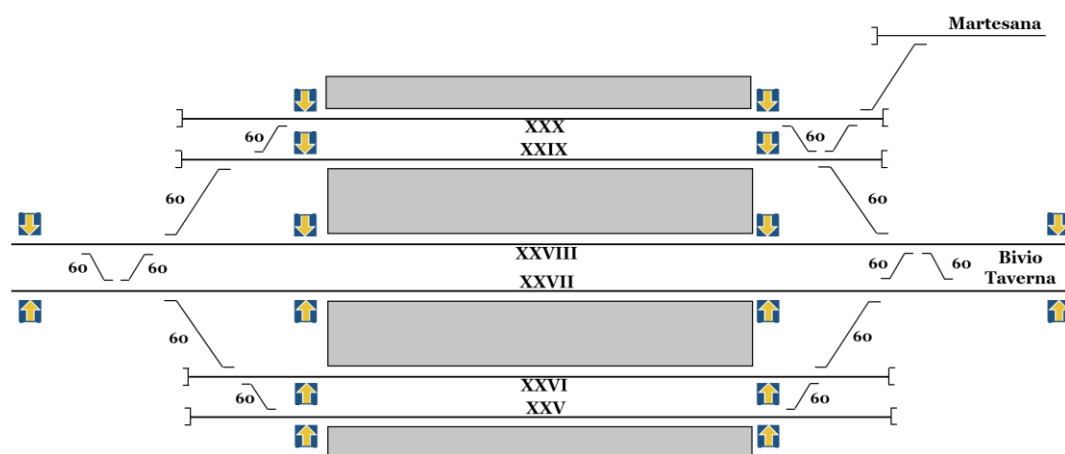


Figura 20 - Rappresentazione schematica della stazione Milano Centrale AV

## 5.2.2 Fase 2

La Fase 2 riguarda l'attivazione della tratta centrale del Passante AV, ovvero quella compresa tra le stazioni di Milano Centrale AV e Milano Porta Garibaldi AV, quest'ultima oggetto della stessa attivazione. L'infrastruttura ha uno sviluppo di circa 1.560 metri interamente in sotterraneo, percorribili in circa due minuti. Eccezion fatta per le fondazioni profonde di alcuni edifici nella zona di Porta Garibaldi, non sono presenti sostanziali vincoli; certo è che il tracciato resterà sempre ad una quota inferiore a quella delle linee metropolitane e delle opere in sotterraneo (Fascio Passante e Passante Ferroviario).

<sup>12</sup> Valori puramente indicativi, dedotti dalla quota alla quale si trovano mediamente le canne delle linee metropolitane di Milano.

---

L'andamento planimetrico di questa fase è stato dedotto rispettando il raggio di curvatura minimo degli elementi planimetrici fissato a 500 metri, così da rispettare una velocità di percorrenza pari a 110 km/h<sup>13</sup>.

Si riporta di seguito una rappresentazione del tracciato riferito alle attivazioni infrastrutturali di Fase 2.

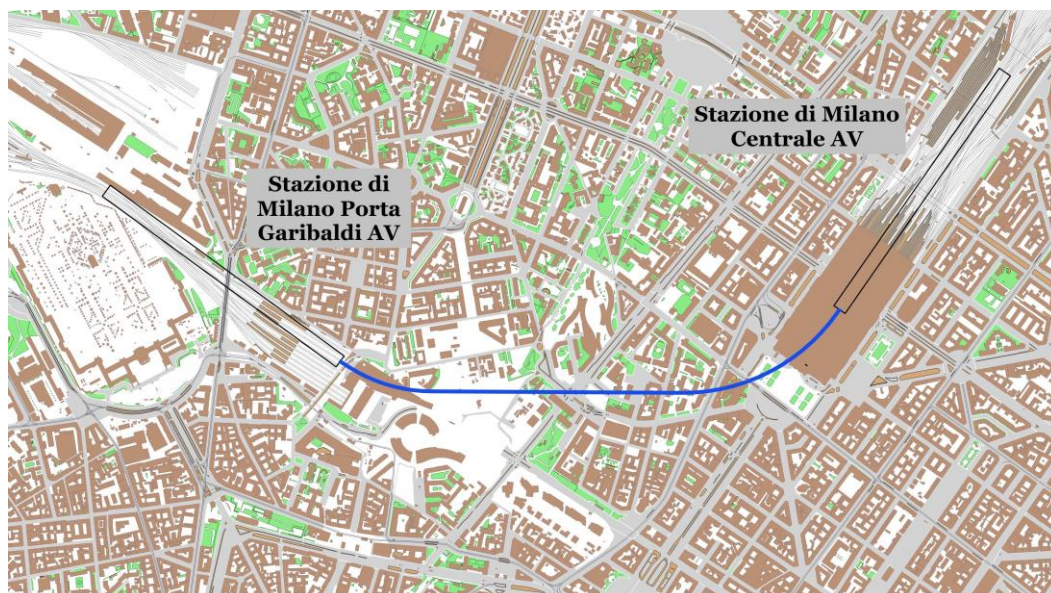


Figura 21 - Attivazioni infrastrutturali di Fase 2

Questa attivazione infrastrutturale prevede anche la realizzazione della stazione Milano Porta Garibaldi AV interamente in sotterraneo, con configurazione simile a quella precedentemente descritta. Anche in questo caso infatti le future esigenze di esercizio impongono la realizzazione di sei binari, così da permettere l'attestamento di alcune relazioni in sotterraneo, senza creare criticità nell'utilizzo dell'impianto. La quota del piano del ferro della stazione sotterranea è posta, anche in questo caso, ad una profondità di 30 metri, al di sotto del piano del ferro della stazione di superficie.

---

<sup>13</sup> Data la sua limitata estensione, questa tratta potrebbe essere percorsa anche a 60 km/h, tuttavia, la possibilità di inserimento di curve di quel raggio garantisce una velocità di percorrenza di 110 km/h, in previsione di servizi che non effettuino fermata in entrambe le stazioni del Passante AV.



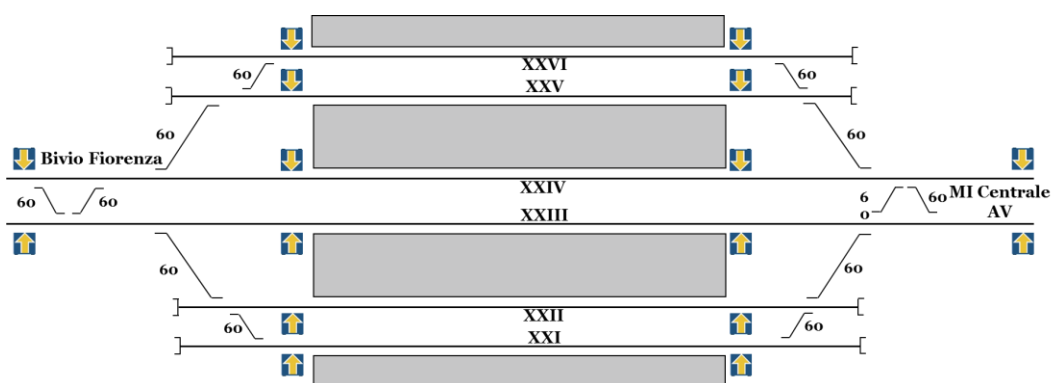


Figura 22 - Rappresentazione schematica della stazione di Milano Porta Garibaldi AV

### 5.2.3 Fase 3

La terza fase consiste nella realizzazione del collegamento tra la stazione di Milano Porta Garibaldi AV e la linea AV/AC nella tratta Milano Certosa – Rho Fiera. Ho scelto di prediligere, anche in questo caso, un’infrastruttura in sotterraneo con punto di allaccio alla rete esistente presso il nuovo Bivio Fiorenza. Questo bivio, la cui denominazione deriva dalla vicinanza del deposito di Fiorenza, consente l’accesso lato ponente al Passante AV. La messa in esercizio delle attivazioni di Fase 3 permette alla nuova infrastruttura di adempiere alle funzionalità richieste dall’offerta in transito nel Nodo di Milano, evitando ribattute e soste di lunga durata presso la stazione di Milano Centrale da parte dei servizi ad Alta Velocità.



Figura 23 - Attivazioni infrastrutturali di Fase 3

---

Ho sviluppato due varianti di questa fase che differiscono nella diversa configurazione di Bivio Fiorenza, denominate di seguito varianti *A* e *B*.

La variante *A* prevede la realizzazione di un bivio a raso, permettendo l'entrata nel Passante AV dall'itinerario deviato. Al fine di evitare i perditempo di percorrenza, ho scelto l'impiego di deviate a 100 km/h.

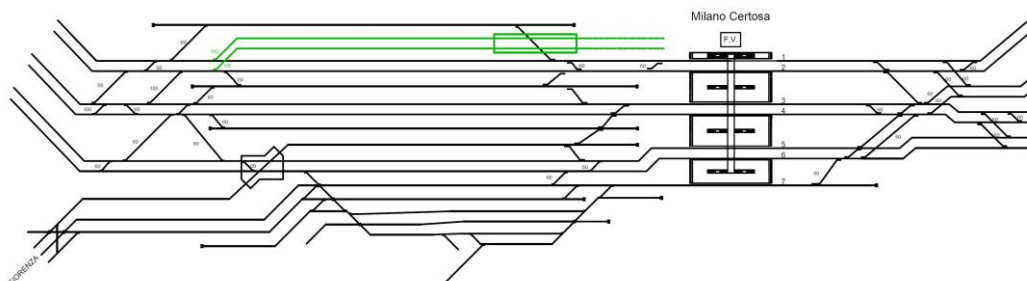


Figura 24 - Bivio Fiorenza, variante A

La variante *B* è pensata nell'ottica di eliminare i tagli tra i flussi che insistono sul bivio; nello specifico, il Passante AV risulta direttamente allacciato in corretto tracciato con la linea AV/AC Milano – Torino mediante una modifica planimetrica della linea esistente in corrispondenza di Milano Certosa.

Questa soluzione consente di eliminare i tagli tra i flussi dispari della Linea AV/AC ed i flussi pari provenienti dalla nuova infrastruttura, limitando le interferenze a sole convergenze e divergenze. Anche in questa configurazione tutti i deviatori sono a 100 km/h.

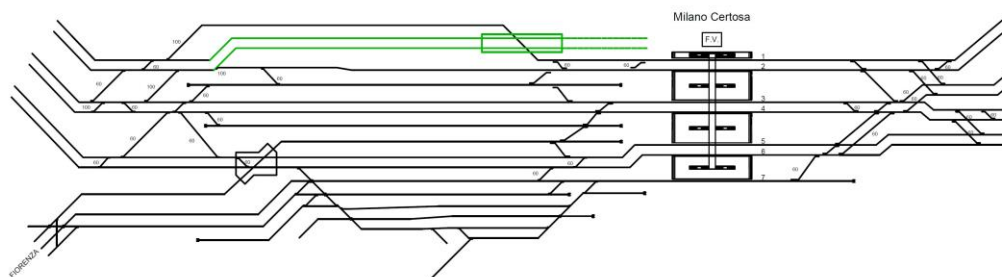


Figura 25 - Bivio Fiorenza, variante B

Il collegamento oggetto della terza attivazione infrastrutturale si sviluppa per una lunghezza complessiva di circa 5.370 metri ed è percorribile in 4 minuti circa. Il piano del ferro sul quale si colloca il Bivio Fiorenza si trova a quota 136 metri s.l.m. e sono disponibili circa 700 metri lineari per sviluppare la rampa di ingresso al Passante AV. Applicando una pendenza del 25 per mille, la differenza di quota realizzabile risulta

pari a 17,5 metri. Questo dislivello è sufficientemente elevato per permettere l'inizio dell'avanzamento della galleria con sistemi meccanizzati, avendo cura di realizzare, a valle di questo punto, una galleria artificiale che consenta di preparare in maniera idonea allo scavo la matrice di materiale sciolto.

I benefici in termini di percorrenza rispetto alla situazione odierna, a seguito delle prime tre attivazioni infrastrutturali, sono quantificabili in cinque minuti sulla tratta Milano Certosa – Bivio Taverna, effettuando però servizio viaggiatori anche nella stazione di Milano Porta Garibaldi AV.

Si riporta, di seguito, la rappresentazione planimetrica complessiva del tracciato del nuovo Passante AV, al termine della realizzazione delle tre fasi fin qui descritte.

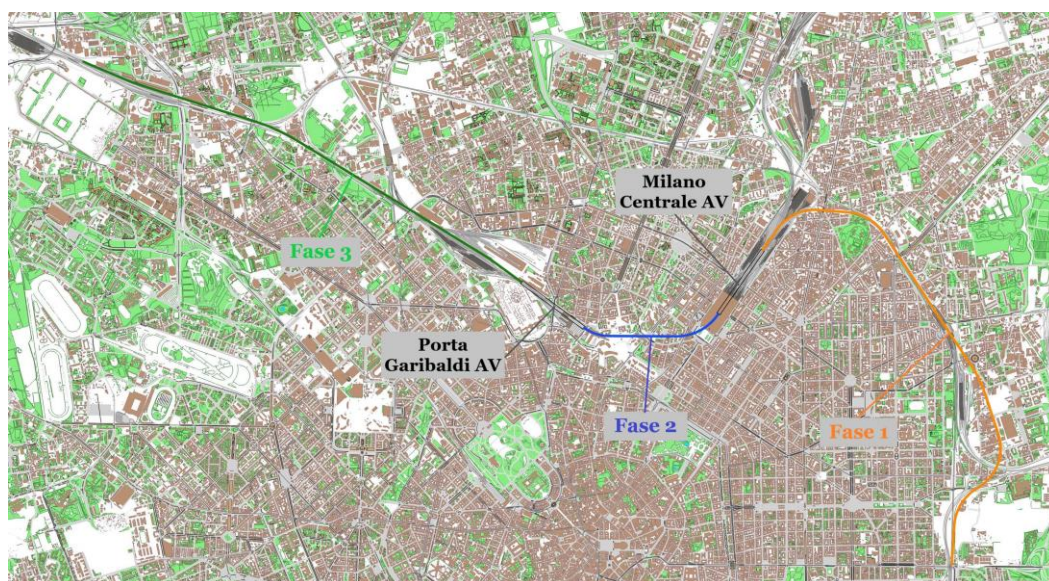


Figura 26 - Attivazioni infrastrutturali delle fasi iniziali del Passante AV

### 5.3 Attivazioni infrastrutturali successive

Le attivazioni infrastrutturali iniziali riguardano esclusivamente l'area urbana di Milano e, pertanto, non consentono il decongestionamento delle direttrici afferenti al Nodo di Milano.

Per questa ragione ho sviluppato altre due fasi di potenziamento infrastrutturale, che consistono rispettivamente nei sestuplicamenti in ingresso al nodo delle direttrici Milano – Bologna e Milano – Venezia. Tali fasi si sviluppano per molti chilometri in superficie per poi proseguire in sotterraneo nelle immediate vicinanze dell'area metropolitana,

---

realizzando il collegamento con Bivio Taverna, nonché con le linee AV/AC Milano – Bologna e Milano – Brescia. A seguire il dettaglio delle fasi sopra citate.

### 5.3.1 Fase 4

Le modifiche infrastrutturali di Fase 4 si rendono necessarie a causa nell'elevato grado di utilizzazione della direttrice Milano – Bologna, in particolare della variante *DD* Milano Rogoredo – PC Melegnano, che risulta prossima alla saturazione.

Esse prevedono la realizzazione del collegamento tra Passante AV e linea AV/AC Milano – Bologna, e della nuova stazione sotterranea a servizio dell'aeroporto di Linate.

Il nodo di collegamento tra il Passante AV e la nuova infrastruttura è localizzato nel tratto iniziale dell'opera, nel segmento successivo alla discesa realizzata in Fase 1. In quella tratta il tracciato è ancora in galleria artificiale e la predisposizione dell'infrastruttura ad un futuro innesto è ragionevolmente realizzabile già in Fase 1. Tale nodo, denominato Bivio Ortica, consente di istradare i treni provenienti da Milano Centrale AV in direzione della stazione sotterranea di Milano Linate AV.



Figura 27 - Bivio Ortica, rappresentazione schematica, in rosso la Fase 4

La nuova stazione di Linate, è pensata per garantire il collegamento con la linea AV/AC Milano Bologna e, nella configurazione di regime al termine di tutte le fasi realizzative, l'innesto con la direttrice Milano – Venezia.

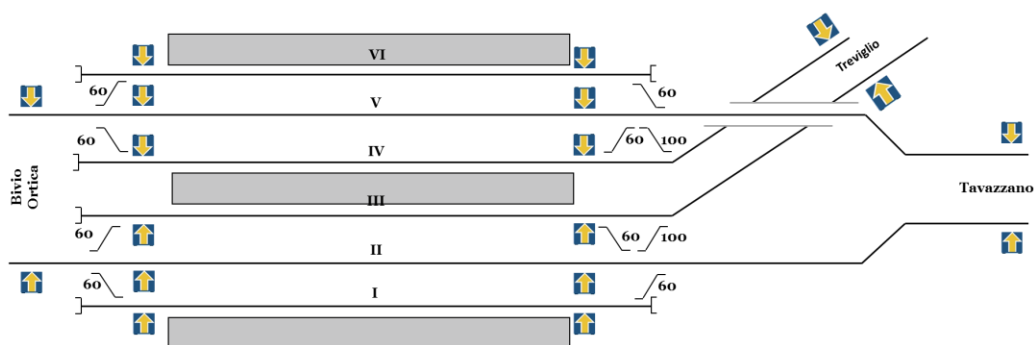


Figura 28 - Rappresentazione schematica della stazione AV di Milano Linate Aeroporto

Il nodo di collegamento con la linea AC/AC in corrispondenza di Tavazzano dovrà essere tale da minimizzare il perditempo di percorrenza, per cui l'attuale linea AV/AC Milano – Bologna sarà in corretto tracciato con la nuova infrastruttura diretta nel Passante AV, con conseguente realizzazione di due bretelle di interconnessione con PC Melegnano. Lo sviluppo lineare della nuova linea in questa fase è di 22.800 metri, 5.000 dei quali realizzati in sotterraneo, percorribili approssimativamente in nove minuti.

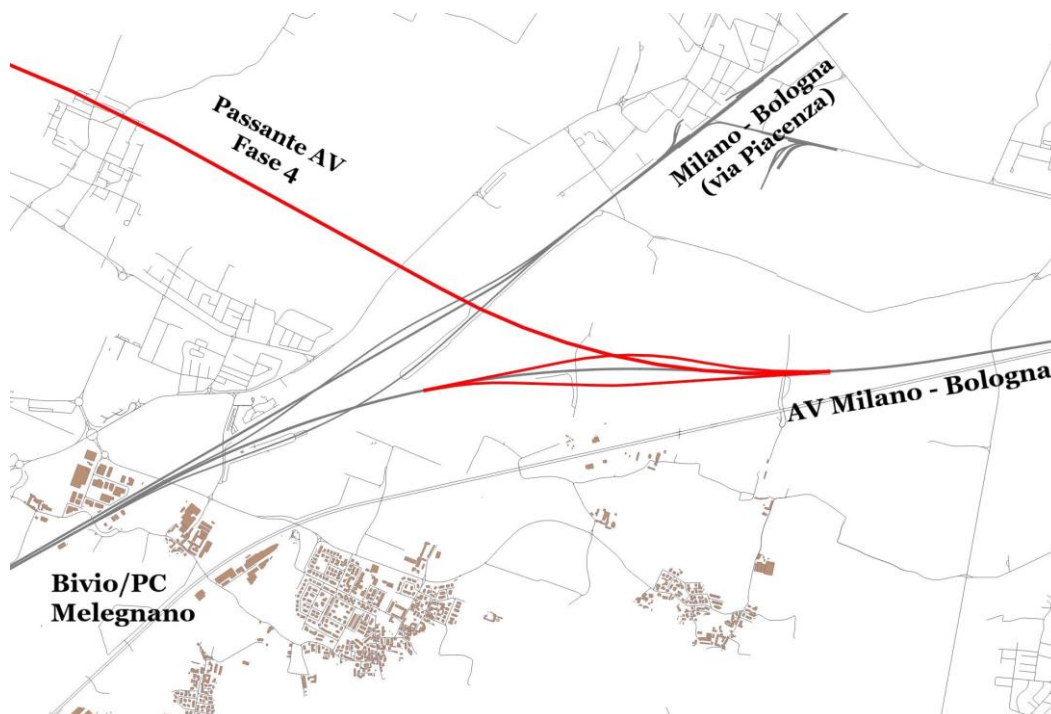


Figura 29 - Rappresentazione schematica dell'interconnessione di Tavazzano

Ho dedotto il tracciato di massima di questa fase minimizzando i conflitti con le infrastrutture già presenti ed evitando, nei limiti del possibile, il passaggio troppo ravvicinato con i piccoli e medi centri abitati. Una visualizzazione di dettaglio è riportata in Figura 30.

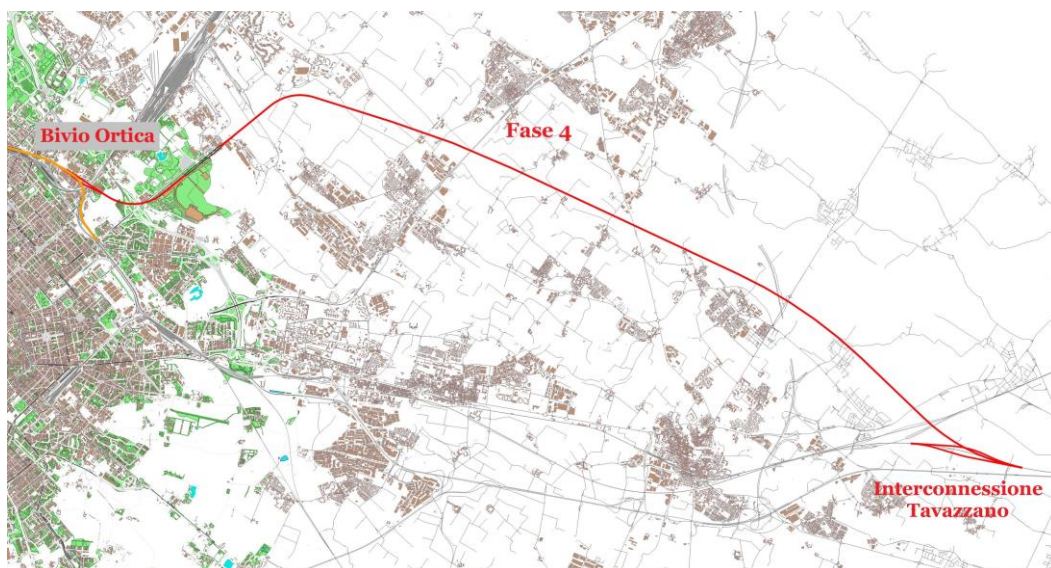


Figura 30 - Attivazioni infrastrutturali di Fase 4

Ho preso in considerazione anche un'ulteriore variante della Fase 4, la quale prevede il quadruplicamento della linea Milano Rogoredo – PC Melegnano *DD*.

Questa variante, tuttavia, oltre a richiedere uno sviluppo lineare maggiore della precedente, prevede la realizzazione di una quota importante del tracciato in sotterraneo, non giustificato da alcun aggiuntivo beneficio capacitivo rispetto alla variante originale. Inoltre, secondo questa configurazione, la stazione di Milano Linate Aeroporto AV non potrebbe essere attivata, posticipando la realizzazione della stessa alle Fase 5. Queste ragioni portano ad escludere tale variante, in quanto più dispendiosa della configurazione originariamente presentata.

### 5.3.2 Fase 5

L'ultima fase permette il sestuplicamento della direttrice Milano – Venezia, mediante la realizzazione di un'infrastruttura quasi totalmente costruita in superficie, per uno sviluppo complessivo di circa 25.530 metri.

Tale collegamento parte dalla stazione di Milano Linate AV e consente l'innesto sulla linea AV/AC Milano – Brescia all'altezza di Treviglio. Per le medesime ragioni espresse nel paragrafo precedente, ho scelto di disporre in corretto tracciato la nuova infrastruttura con la linea AV/AC, con conseguente realizzazione di un'interconnessione in corrispondenza di Bivio Casirate.



Figura 31 - Rappresentazione schematica dell'interconnessione tra l'AV Milano - Brescia e Bivio Casirate

Ho dedotto il tracciato indicativo di questa fase, riportato in Figura 32, minimizzando i conflitti con i corsi d'acqua e con i centri abitati di piccole dimensioni, nonché con i principali assi viari, quali l'autostrada A35 BreBeMi e l'attuale linea AV/AC Milano – Brescia.

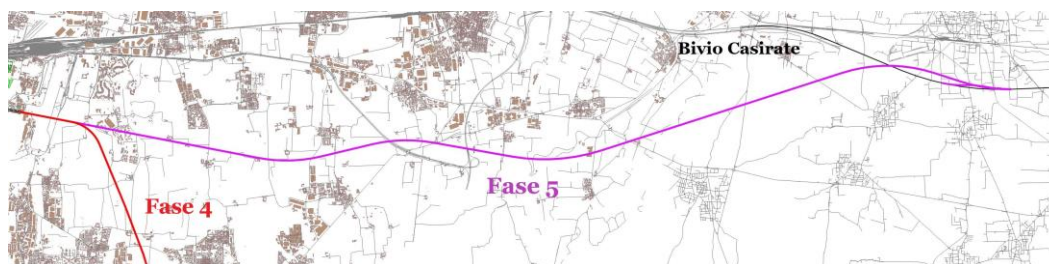


Figura 32 - Rappresentazione schematica delle attivazioni infrastrutturali di Fase 5

In conclusione, riporto una mappa che evidenzia tutte le cinque attivazioni infrastrutturali del Passante AV.





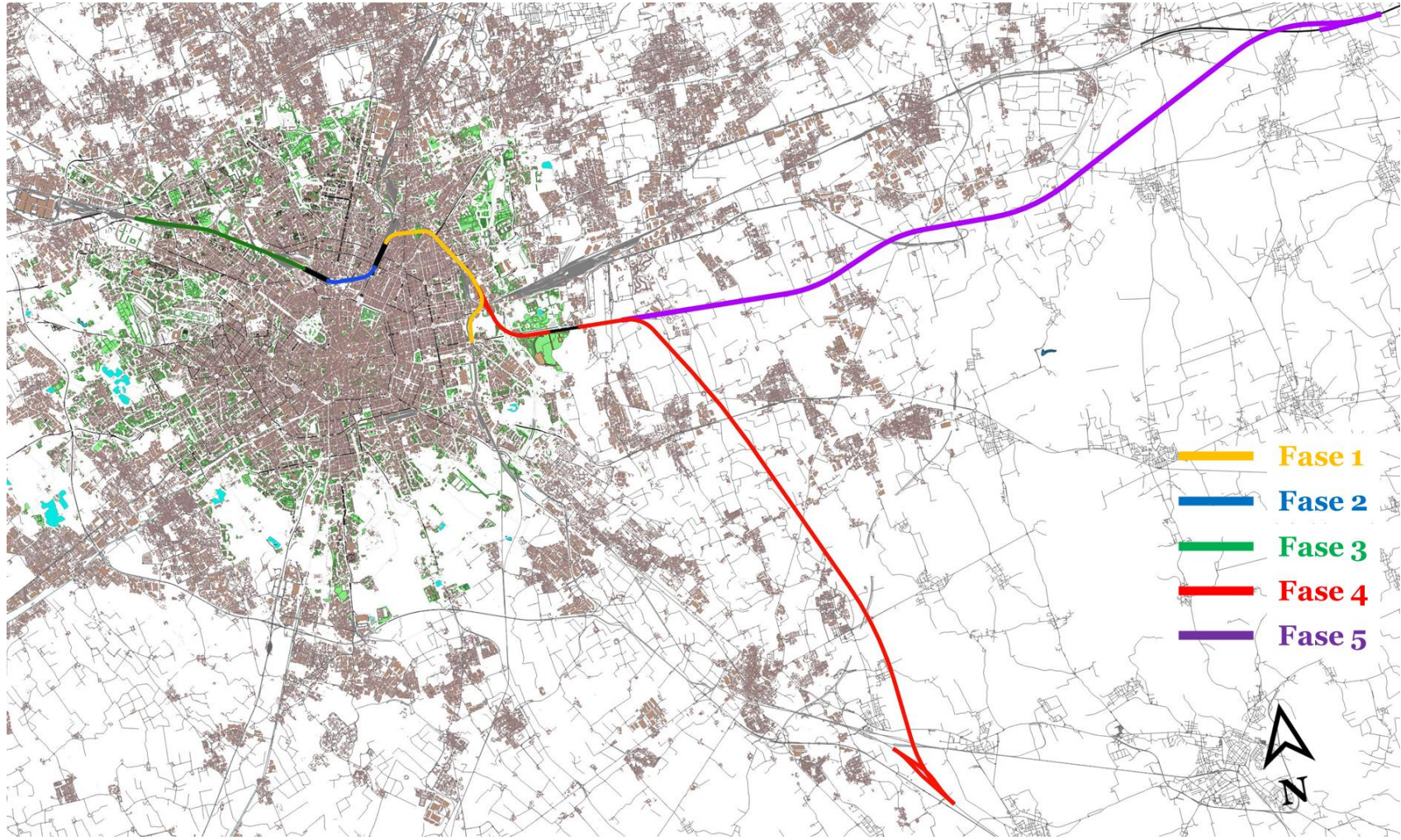


Figura 33 - Visione complessiva delle attivazioni del Passante AV di Milano



---

## 6

# Metodi di valutazione capacitiva delle linee e degli impianti

Si definisce flusso di una infrastruttura di trasporto il numero di veicoli che attraversa una determinata sezione della stessa in un tempo di riferimento. La determinazione di questo parametro risulta essere il punto di partenza fondamentale per una migliore pianificazione dello sviluppo dell'infrastruttura; consente, anche, di ottimizzare i costi di utilizzazione da parte degli utenti [54]. In linea generale, riferendosi ad una infrastruttura in senso lato, il flusso di un sistema di trasporto è funzione della velocità, per sistemi continui e simultanei della velocità del sistema stesso, per sistemi discontinui e non contemporanei della velocità dei veicoli transitanti attraverso una sezione.

*“La capacità di un’infrastruttura si esprime in termini di flusso massimo, cioè di veicoli, di utenti o di merci che possono transitare nell’unità di tempo attraverso una sua sezione” [29].*

A differenza dei sistemi continui, nel caso di quelli discontinui il flusso non è proporzionale alla velocità: velocità alte permettono a pochi veicoli di fluire a causa dell’elevata spaziatura necessaria al mantenimento di un’adeguata distanza di sicurezza<sup>14</sup>, funzione della velocità, così come velocità basse non consentono un soddisfacente deflusso dei veicoli a causa di un’elevata congestione. Pertanto, la velocità che massimizza il flusso

---

<sup>14</sup> Tale distanza deve essere almeno pari a quella di arresto per il veicolo.

---

e individua la capacità dell'infrastruttura sarà una velocità intermedia tra la velocità massima consentita e quella nulla.

In Figura 34 viene esplicitato il concetto sopra esposto.

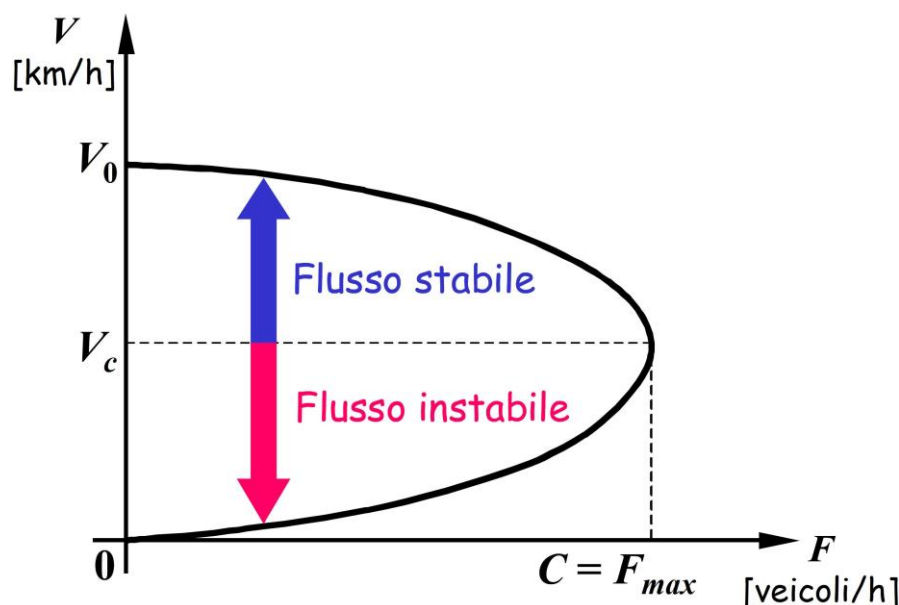


Figura 34 - Modello di deflusso Velocità – Flusso: Fonte [29]

Questo approccio, notoriamente di successo in campo stradale, non risulta efficace nella determinazione della capacità di un'infrastruttura ferroviaria. A tal scopo, è utile considerare che, nel campo ferroviario, le velocità, i tempi di percorrenza, nonché i tempi di fermata, sono parametri di progettazione legati a requisiti commerciali che determinano l'utilità dei diversi servizi [60].

La capacità di un elemento ferroviario è, a priori, di natura complessa, in quanto non dipende solamente dalle caratteristiche della stessa (impianti di segnalamento, numero di binari, velocità di tracciato, ecc.), ma anche da un vasto insieme di elementi e fattori quali:

- le riduzioni di velocità e le interruzioni dovute alle operazioni di manutenzione;
- la lunghezza dei veicoli;
- la circolazione eterotachica<sup>15</sup>;
- la frequenza dei servizi.

Sulla base di quanto sopra detto, Rotoli *et al.* (2016) [54] affermano che un'analisi capacitativa in campo ferroviario necessita di robuste metodologie analitiche, nonché di informazioni molto dettagliate in merito all'infrastruttura in analisi e all'orario di servizio.

---

<sup>15</sup> Caratterizzata da treni viaggianti a velocità e/o accelerazioni differenti; questo è il caso generalizzato del servizio misto [30].

È possibile, inoltre, reperire in letteratura formulazioni che associno la capacità al ritardo che i veicoli subiscono, rendendo esplicito il concetto di stabilità di un sistema di trasporto [1] [26] [53] o, più nello specifico, di stabilità dell'orario<sup>16</sup> [57]. Riguardo alle modalità con le quali la capacità venga modificata e si stabilizzi a seguito di una perturbazione, Chu e Oetting (2013) [35], nell'ottica di valutare alcuni parametri che concorrono alla determinazione della capacità degli elementi del sistema ferroviario in esame, propongono un modello di analisi del transitorio in grado di riprodurre ciò che accade a seguito di un disguido della circolazione ferroviaria.

In letteratura sono presenti numerosi metodi per la valutazione della capacità di un'infrastruttura ferroviaria; essi differiscono per base teorica nonché per le diverse ipotesi sui volumi di traffico utilizzati nei computi. Tuttavia, la ricerca in tale ambito è in continua evoluzione e, negli ultimi anni, lo sviluppo tecnologico ha favorito l'informatizzazione di tali processi, affiancando alle metodologie analitiche programmi di simulazione [56].

La definizione più completa e sintetica di capacità di una infrastruttura ferroviaria è quella fornita dall'UIC<sup>17</sup> in Fiche 405/406 [19] [20]:

*“La capacità di per sé non esiste. La capacità dell'infrastruttura ferroviaria dipende dal modo in cui essa viene utilizzata. I parametri su cui è basata la capacità sono le caratteristiche dell'infrastruttura stessa, includendo il sistema di segnalamento, il programma di esercizio ed il livello di servizio da garantire”.*

Citando sempre la linea guida UIC Fiche 405/406 ed altri articoli di letteratura, è possibile definire la capacità come il massimo numero di treni che possono transitare su un determinato elemento del sistema ferroviario in un tempo di riferimento, con una eterogeneità d'offerta e tenendo conto della qualità del servizio richiesta dal mercato [3] [14] [18] [23] [58].

La linea guida UIC 406, formulata dall'Unione Internazionale delle Ferrovie, propone il calcolo del grado di utilizzazione delle linee, in riferimento ad un insieme di veicoli, attuali o previsti, che differiscono per velocità di percorrenza su di una tratta; esplica, inoltre, importanti valutazioni in merito ai margini di regolarità necessari a garantire la stabilità del sistema ferroviario sottoposto a ritardi e perturbazioni [60]. Volendo tenerne conto, è possibile calcolare successivamente la capacità della linea, antepoendo a tale

---

<sup>16</sup> Dato che definisce tutti i movimenti programmati dei treni e del materiale rotabile sull'infrastruttura di GI, durante il suo periodo di validità [48].

<sup>17</sup> UIC: Union International des Chemins de Fer.

---

valutazione l'inserimento di ulteriori convogli con caratteristiche cinematiche arbitrarie, ma tali da contenere i margini di regolarità ad un livello tollerabile [56].

Una volta definito il modello di esercizio da sottoporre a verifica, Capitolo 3, il parametro chiave per la valutazione dell'idoneità della configurazione infrastrutturale, nonché della bontà delle scelte attuate, è il grado di utilizzazione di un determinato elemento appartenente al sistema oggetto di studio. I diversi metodi analitici e di simulazione, sviluppati per la determinazione dell'utilizzo dell'infrastruttura ferroviaria, hanno tutti in comune il fatto di calcolare un valore indicatore a partire da uno spazio multidimensionale di variabili indipendenti, che considera vari aspetti [54]:

- le caratteristiche infrastrutturali della linea, sia topologiche che geometriche, per gli aspetti che permettono di determinare i tempi di percorrenza, le interferenze e le possibilità di variazione della successione tra treni;
- le caratteristiche di segnalamento della linea, nella traduzione del funzionamento dei dispositivi che garantiscono la circolazione in sicurezza di più treni, in intervalli di interdizione tra l'uso di un tratto di binario da parte di un treno e l'uso dello stesso tratto da parte del treno successivo;
- le caratteristiche dei veicoli, che solidalmente alle proprietà dell'infrastruttura, definiscono i tempi di percorrenza e di fermata;
- i volumi di traffico insistenti sull'infrastruttura, espressi attraverso le grandezze della frequenza oraria, se il sistema è cadenzato, oppure del numero di corse/ora per direzione;
- le caratteristiche commerciali dei servizi, ovvero l'eventuale necessità di garantire la coesistenza di più servizi, aventi velocità differenti, nonché diversa proporzione e successione tra gli stessi;
- il livello di servizio atteso, nel significato di regolarità attesa in senso probabilistico, cioè di una valutazione probabilistica della idoneità di un sistema a riassorbire, entro un certo tempo, il ritardo di un treno e a contenere, entro certi limiti, le ripercussioni del ritardo di un treno sull'orario degli altri treni.

È necessario distinguere, a questo punto, i differenti approcci in merito alla misurazione della capacità di un sistema ferroviario; questa può essere calcolata soffermandosi sui differenti elementi che di esso fanno parte.

Le principali famiglie di elementi valutabili si riconducono a tratti di linea, infrastrutture sulle quali circolano i treni, e nodi, luoghi dislocati lungo una linea aventi diverse caratteristiche e funzioni relative alla circolazione o al movimento dei treni [46].

A seguire saranno esposte le principali metodologie per il calcolo della capacità di un elemento ferroviario, sia esso un tratto di linea o sia esso un nodo.

## 6.1 Calcolo capacità delle linee

La capacità di una linea ferroviaria non è unica e possono essere definite due diverse tipologie di capacità: la capacità teorica e la capacità pratica.

La capacità teorica è il massimo numero di treni che possono percorrere un tratto di linea viaggiando ad una distanza reciproca che è la minima permessa dagli impianti di blocco<sup>18</sup>. Questa capacità identifica il limite superiore delle prestazioni di un sistema ferroviario in quanto esplica una circolazione ideale, nella quale non sono presenti perturbazioni o interferenze dovute l'eterotachicità della circolazione stessa. Tale valore di capacità non risulta utile per studi di tipo trasportistico, ma viene impiegato per valutazioni impiantistiche e tecnologiche ai sistemi di distanziamento<sup>19</sup> [30].

La capacità pratica rappresenta, invece, il reale numero di convogli che interessano la linea al fine di garantire un determinato livello di regolarità.

Il primo valore di capacità, quella teorica, viene analiticamente calcolato, mentre il secondo, quella pratica, è un limite intrinseco della linea oggetto di studio. In letteratura sono presenti alcuni studi nei quali si analizza quale sia la soglia di flusso oltre la quale si provochino perturbazioni al sistema ferroviario [5] [40] [55]; tuttavia, come evidenziato da Dicembre e Ricci (2012) [14] e riportando quanto scritto sulle linee guida dell'UIC Fiche 406 [20], la capacità che viene impiegata in condizioni di normale operatività del sistema è compresa tra il 60% ed il 75% della capacità teorica.

Risulta doveroso precisare il significato degli elementi all'inizio del capitolo in quanto, nella trattazione analitica, assumeranno un significato concreto.

Per quanto riguarda la definizione dei volumi di traffico, si preferisce fare riferimento ai volumi di traffico presenti nell'ora di punta, la quale costituisce il momento di maggior carico della linea. È da non confondersi con l'ora di punta pendolare mattutina o serale, riferita esclusivamente al picco del flusso di passeggeri; l'analisi capacitiva viene applicata sia all'ora di punta dei passeggeri che all'ora di morbida degli stessi; potrebbe, infatti, essere presente un copioso traffico merci che, nel complesso, renderebbe l'ora di morbida più gravosa, in termini di flussi insistenti su un tratto di rete, rispetto all'ora di punta. Non si prestano bene, invece, analisi riferite a volumi o flussi giornalieri, ad esempio quelli relativi alla redditività degli investimenti di un tratto di infrastruttura, in

---

<sup>18</sup> Sono l'insieme delle dotazioni tecnologiche impiegate soltanto nei regimi e nei sistemi di blocco elettrico e blocco radio per garantire l'esplicarsi del distanziamento in condizioni di sicurezza intrinseca [30].

<sup>19</sup> Denominazione non ufficiale che indica le diverse modalità di attuazione dei regimi di circolazione.

---

quanto il risultato dell'analisi apparrebbe eccessivamente mediato, non rendendo apprezzabili le fluttuazioni giornaliere del parametro utilizzazione.

Risulta propedeutica la definizione del livello di servizio atteso ed il suo legame con i sistemi di distanziamento con cui è attrezzata l'infrastruttura, nonché l'approfondimento del concetto di specifica di distanziamento<sup>20</sup>.

I sistemi di distanziamento sono elementi tecnologici di sicurezza che garantiscono il mantenimento della distanza tra due treni ad un valore almeno pari a quello di sicurezza. Essi rilevano la posizione dei veicoli e fanno sì che un tratto di binario sia occupato da un treno soltanto quando il convoglio antecedente lo abbia liberato. La rilevazione<sup>21</sup> della posizione può essere fatta con modalità differenti, dipendenti dalle molteplici tecnologie disponibili.

La circolazione sulle linee principali dell'Infrastruttura Ferroviaria Nazionale è caratterizzata da valori tipici delle sezioni di blocco compresi tra 900 e 2.250 metri<sup>22</sup> [48]; con tale cadenza si aggiornano le informazioni rilevate dagli strumenti, necessarie per impartire le prescrizioni da attuare nel proseguimento della marcia dei treni.

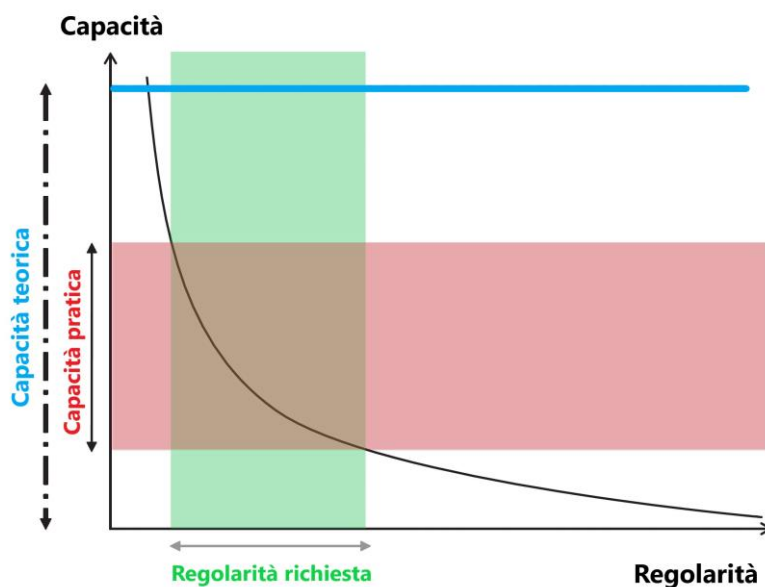


Figura 35 - Correlazione tra capacità teorica, capacità pratica e regolarità

---

<sup>20</sup> Intervallo di programma dei convogli, nel caso di linee attrezzate con BAcc a sezioni concatenate [57].

<sup>21</sup> Esistono sistemi di rilevazione indiretta manuale (oggi abbandonati), indiretta assistita, indiretta automatica, diretta automatica ed auto localizzazione [30].

<sup>22</sup> Valori ottenibili impiegando la tecnologia di BA a sezioni concatenate, sulle linee principali in Italia. Restano escluse le linee AV/AC e le linee secondarie.



Sulla base dei valori sopra citati, è possibile determinare l'intervallo temporale al quale distanziare i treni, in modo tale che, in ogni condizione, il convoglio a monte non recepisca aspetti di segnali restrittivi per la sua marcia. Nota la velocità, si calcola il distanziamento teorico, cioè ogni quanti minuti un treno può seguirne un altro. L'esercizio reale, però, spesso differisce dalla condizione ideale progettata ed esplicita nell'orario di servizio; pertanto, è necessaria l'aggiunta di un margine temporale che permetta di assorbire, senza creare gravi ripercussioni alla circolazione dei treni successivi, lievi perturbazioni subite dai convogli. L'incremento al valore teorico di distanziamento prende il nome di margine di regolarità. La specifica di distanziamento si definisce come la somma del distanziamento teorico e del margine di regolarità. La distribuzione dei margini di regolarità non possiede un omogeneo e diffuso impiego nei vari Paesi europei, che li vedono collocati tra treno e treno, li raggruppano al termine di pacchetti di treni o li considerano unicamente accettando un grado di utilizzazione più contenuto [57].

La consuetudine italiana prevede la determinazione di una specifica di distanziamento pari a quattro, cinque o sei minuti, a seconda che la distanza tra i successivi segnali di una linea sia compresa entro determinati valori massimi [57]. Tutte le grandezze sopra citate concorrono alla determinazione del parametro utilizzazione della linea, espresso generalmente in forma percentuale.

L'utilizzazione di una linea, quindi, esprime la quota parte della capacità assorbita da un determinato modello di esercizio, ovvero da un programma di tracce orarie assegnate, in un tempo di riferimento [56].

La capacità delle linee è, inoltre, fortemente condizionata dagli elementi che compongono il sistema ferroviario, raggruppabili nelle seguenti categorie di parametri [22] [24] [62]:

- i parametri dell'infrastruttura: il numero di binari della linea, la distanza tra due località di servizio successive, la velocità di tracciato e la velocità di esercizio;
- i parametri di esercizio: di questa categoria fanno parte il modello di esercizio, le caratteristiche del materiale rotabile, la tipologia del traffico, il distanziamento tra due convogli e l'intervallo di riferimento di valutazione;
- gli effetti del traffico: comprende la generazione e propagazione dei ritardi e la qualità attesa e richiesta del servizio.

I metodi per il calcolo della capacità o del grado di utilizzazione di una linea si differenziano sostanzialmente in tre grandi categorie, così come esposte in numerosi articoli di letteratura [23] [25], nonché sul testo [52]:

- metodi sintetici, detti anche statici, i quali adottano formule di tipo deterministico; i parametri incogniti sono tra loro mutuamente indipendenti;

- 
- metodi analitici, detti anche dinamici, che utilizzano relazioni di tipo probabilistico sottendendo una valutazione della probabilità di accadimento di un determinato evento; i parametri incogniti sono mutuamente dipendenti gli uni con gli altri;
  - metodi analogici, che utilizzano programmi e procedure di simulazione più o meno complesse. Essi si dividono in metodi sincroni, categoria nella quale entrano tutti i processi di ottimizzazione basate sulla minimizzazione dei ritardi e le simulazioni di traffico, e metodi asincroni, i quali sono spesso usati per l'ottimizzazione in senso lato di una o più variabili.

A seguire saranno descritti i principali metodi, presenti in letteratura, appartenenti alle categorie sopra descritte.

### 6.1.1 Metodi deterministici

Questa categoria metodologica, nella quale i metodi possono essere denominati anche come sintetici, raccoglie l'insieme di tutti i metodi nei quali sia presente un procedimento di tipo deterministico. Come già accennato prima nel paragrafo 6.1, il significato matematico di tali procedimenti risiede nella mutua indipendenza delle variabili incognite del metodo.

Due significativi esempi, appartenenti alla categoria dei metodi di tipo deterministico, sono il metodo RFI ed il metodo di compattazione [20].

#### 6.1.1.1 Metodo RFI

Sviluppato dall'impresa Rete Ferroviaria Italiana S.p.A., riportato in una sua norma interna, il metodo consente di determinare, inizialmente, la capacità teorica di un tratto di linea su base giornaliera e oraria. Le relazioni usate sono espressioni analitiche specializzate per linee a doppio e singolo binario.

Per le linee a doppio binario la capacità teorica è espressa, per ciascun binario, come:

$$C_{tg} = 1320 \frac{N}{D_n}$$

$$C_{to} = 60 \frac{N}{D_n}$$

dove:

- $C_{tg}$  è la capacità teorica giornaliera;
- $C_{to}$  è la capacità teorica oraria;
- $N$  rappresenta il numero di binari;

- $D_n$  esprime di distanziamento, in termini temporali, in linea; esso dipende dalle caratteristiche della linea e dal regime di circolazione presente; la sua valutazione può, inoltre, essere condotta facendo riferimento all'esperienza.

Per linee a semplice binario la capacità teorica giornaliera ( $C_{tg}$ ), nonché oraria ( $C_{to}$ ), vengono determinate come segue.

$$C_{tg} = \frac{1320}{2T_d + \tau}$$

$$C_{to} = \frac{60}{T_d + \tau}$$

I parametri da evidenziare sono:

- $T_d$  rappresenta il tempo di percorrenza, alla velocità di rango A, della sezione rilevante; non sono da considerarsi gli allungamenti di percorrenza;
- $\tau$  esprime il tempo di incrocio, stabilito e riportato nello Scenario Tecnico.

I fattori presenti in tali espressioni sono il numero di minuti presenti nell'arco temporale considerato; per il calcolo della capacità teorica giornaliera pari a 1.320, ovvero i minuti presenti in ventidue<sup>23</sup> ore, nel calcolo di quella oraria, chiaramente pari a 60.

È adesso determinata la capacità teorica di un tratto di linea rilevante; tuttavia questo valore è associato ad una circolazione omotachica, che quindi non rispecchierà la realtà eterogenea dell'esercizio ferroviario. Per tenere conto di tali condizioni in modo generale, vengo applicati alla capacità teorica dei fattori moltiplicativi, sempre minori dell'unità e pari a  $1/K$ , a correzione della capacità teorica giornaliera, e pari a  $1/K_1$ , a correzione della capacità teorica oraria.

Il valore di  $K_1$  è sempre inferiore al valore di  $K$  a spiegazione del diverso arco temporale considerato nelle diverse formulazioni.

I valori dei coefficienti  $K$  e  $K_1$ , riportati in Tabella 20, sono espressi in funzione dei livelli di velocità<sup>24</sup> associati a differenti tipologie di servizio.

Livello di velocità	K	K <sub>1</sub>
<b>1</b>	1,2	1,0
<b>2 - 3</b>	1,4 ÷ 1,5	1,3
<b>4 - 5</b>	1,8 ÷ 1,9	1,5

Tabella 20 - Valori dei coefficienti riduttivi K e K<sub>1</sub>

<sup>23</sup> Un'infrastruttura ferroviaria non viene mai utilizzata in modo continuativo sulle ventiquattro ore della giornata. È sempre presente un arco temporale interdetto alla circolazione e necessario per l'assorbimento di eventuali perturbazioni, disguidi od operazioni manutentive.

<sup>24</sup> Per la definizione dei livelli di velocità si rimanda al Capitolo 7.

---

Infine, scelti i valori di K e  $K_1$ , si determina la capacità pratica su base giornaliera e oraria, utilizzando le relazioni sotto riportate.

$$C_{pg} = \frac{C_{tg}}{K}$$

$$C_{po} = \frac{C_{to}}{K_1}$$

I termini  $C_{pg}$  e  $C_{po}$  rappresentano la capacità pratica giornaliera e oraria di un tratto di linea.

La semplicità di questo metodo rende evidenti i suoi limiti: non consente, infatti, di valutare e considerare l'effettiva differenza di velocità tra i servizi, così come di prendere in considerazione gli effetti delle sezioni vicine a quella in esame.

Resta, tuttavia, un modo semplice e veloce per valutare in prima analisi la capacità di un tratto di linea, evidenziandone eventuali criticità preliminari. Va infine evidenziato che tale metodo produce delle sovrastime della capacità pratica.

#### 6.1.1.2 Metodo di compattazione

Il metodo di compattazione, proposto nelle linee guida UIC in Fiche 405 e 406 [19] [20], nasce come un procedimento di tipo grafico nel quale, una volta costruito un orario grafico, le tracce vengono "compattate", ovvero avvicinate tra loro, riducendo al minimo la distanza ammessa tra le stesse e rendendola quindi pari alla specifica di distanziamento. L'area sottesa alle tracce, una volta compattate, è il tempo di utilizzazione totale di una linea.

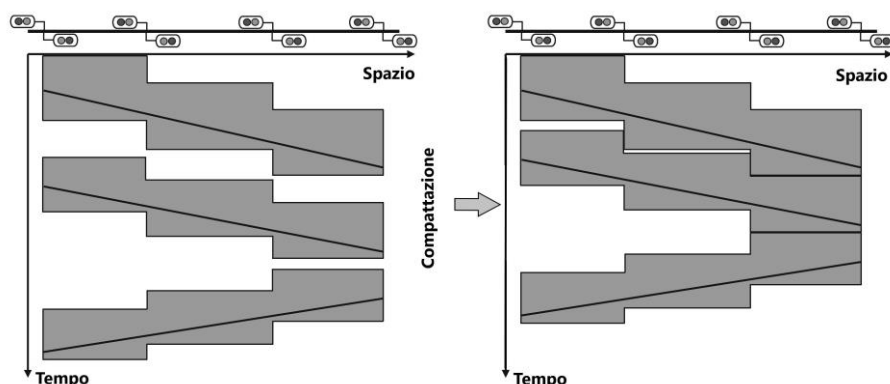


Figura 36 - Metodo di compattazione Fonte: [27]

Il grado di utilizzazione della linea viene determinato come il rapporto tra il tempo di utilizzazione totale e l'arco temporale di riferimento. Il tempo a disposizione rimanente

non è utilizzabile nella sua interezza per la graficazione di ulteriori tracce a causa di piccoli margini dovuti ai perditempo per eterotachia non eliminabili.

Si definisce capacità residua l'ulteriore arco temporale nel quale possono essere inserite nuove tracce, mentre si definisce residuo tecnico il tempo a complemento dell'arco temporale di riferimento rimanente, che a questo punto va a beneficio della regolarità. Nascendo come metodo prettamente grafico, il metodo di compattazione, trova difficile impiego se applicato a reti complesse sulle quali è presente una circolazione fortemente eterotachica. A fronte di tutto ciò è stato sviluppato in letteratura un metodo analitico fondato sul metodo grafico sopra descritto, in grado di valutare il grado di utilizzazione di un tratto di linea in maniera numerica.

La procedura proposta dall'UIC in Fiche Leaflet 406 (2004) [18], ad integrazione ed aggiornamento delle linee guida [19] [20], consente sviluppare quanto sopra detto in maniera numerica.

Il tempo di utilizzazione totale  $k$ , espresso in minuti, è determinato dalla somma dei seguenti parametri:

$$k = t_A + t_B + t_C + t_D$$

dove:

- $t_A$  tempo di transito nella sezione da parte del convoglio, espresso in minuti;
- $t_B$  tempo aggiuntivo, detto "tampone", che serve come franco di sicurezza, espresso in minuti;
- $t_C$  tempo supplementare per le linee a binario unico, espresso in minuti;
- $t_D$  tempo aggiuntivo per le operazioni di manutenzione.

Il grado di utilizzazione  $K$ , espresso in percentuale, si determina usando l'espressione riportata di sotto.

$$K = 100 \frac{k}{t_U}$$

Dove  $t_U$  è l'intervallo temporale di riferimento dell'analisi, espresso in minuti.

In letteratura è possibile reperire articoli che applicano tale metodologia a casi studio più o meno complessi. Volendo citarne uno, Sameni *et al.* (2011) [21] applicano il metodo di compattazione ad un orario esistente nell'ottica di migliorare lo stesso. Introducono, inoltre, i concetti di macro e micro-capacità confrontando la metodologia proposta

---

nell'UIC Fiche 406 con quella CUI<sup>25</sup>. Applicano, a termine del loro articolo, questi metodi a due casi reali, uno britannico ed uno danese.

Sono inoltre presenti numerosi articoli che trattano di capacità di un'infrastruttura ferroviaria senza però entrare nel merito delle linee guida sopra citate. Landex (2009) [27] ha presentato uno studio che evidenzia le differenze nella determinazione della capacità delle linee a doppio binario ed a binario unico. Branishtov *et al.* (2014) [4] applicano la teoria dei grafi ad una rete ferroviaria determinandone la capacità in maniera semplice, ma soprattutto grafica. Genovesi e Ronzino (2005) [16] studiano i benefici portati ad una linea a semplice binario dovuti alla costruzione di uno o più posti intermedi di movimento. Gli stessi autori, in una successiva pubblicazione, [17] valutano la capacità di linee attrezzate con blocco mobile, così come di linee attrezzate con blocco a sezioni fisse.

## 6.1.2 Metodi probabilistici

I metodi analitici di tipo probabilistico, detti anche dinamici, sono procedure nelle quali si ha una mutua dipendenza tra le variabili incognite del problema stesso. Essi permettono di ottenere risultati più precisi rispetto ai metodi deterministici; tuttavia il loro limite risiede nella possibilità di determinare la capacità di una linea applicando la metodologia ad una sezione di riferimento, caratterizzata dal tempo massimo di percorrenza. Il valore di capacità calcolato su tale sezione esprime il limite superiore della capacità della linea e non fornisce indicazioni in merito a ciò che avviene nelle sezioni limitrofe. Inoltre, l'utilizzo di questi metodi su reti complesse e caratterizzate da un orario fortemente eterotachico risulta molto difficoltoso [56]. I due principali metodi che saranno esposti sono il metodo UIC ed il metodo DB.

### 6.1.2.1 Metodo UIC

Il metodo UIC è un metodo semplice il cui impiego risulta agevolato dalla lineare procedura analitica che lo compone. Esso consente di considerare le circolazioni preesistenti, nonché delle caratteristiche infrastrutturali e tecnologiche della linea in esame. Infine, può anche essere usato in fase di progettazione per linee non ancora realizzate, o per studi di potenziamento di linee esistenti.

---

<sup>25</sup> Acronimo inglese di "Capacity Utilisation Index"; metodologia utilizzata nel Regno Unito per la determinazione dell'utilizzazione di un tratto di rete.

Il metodo si basa sulla costruzione di due matrici:

- la matrice  $S$ , che rappresenta le quantità dei casi di successione tra treni, ripartiti secondo classi di tempi di percorrenza; si nota che la somma degli elementi della matrice  $S$  è pari al numero dei treni circolanti  $N$  meno uno;
- la matrice  $O$ , nella quale sono contenuti i tempi di occupazione delle varie successioni tra treni.

Le due matrici,  $S$  e  $O$ , possiedono medesime dimensioni ed il loro prodotto restituisce una matrice contenente i tempi di occupazione complessivi per ogni caso. La somma degli elementi di tale matrice rappresenta, invece, il tempo di occupazione totale dell'infrastruttura, denominato  $T_{ot}$ .

Proseguendo, utilizzando la seguente relazione viene determinato l'intervallo medio di distanziamento minimo tra i treni ( $t_{fm}$ )

$$t_{fm} = \frac{T_{ot}}{N - 1}$$

È adesso possibile esprimere la potenzialità di un tratto di linea, nella forma più generale, nel seguente modo:

$$P = \frac{T}{t_{fm} + t_r + t_{zu}}$$

Dove:

- $T$  rappresenta l'arco temporale di riferimento;
- $t_r$  è il margine di ampliamento; esso si basa sull'assimilazione di un tratto di linea ad una stazione di servizio. Questa operazione consente di applicare la teoria delle code per le valutazioni del caso [6];
- $t_{zu}$  esprime il tempo supplementare in modo da considerare il numero di sezioni sul tratto di linea in esame.

Secondo la teoria delle code, il numero di convogli che subiscono perturbazioni della marcia è funzione del valore dell'intensità di traffico presente<sup>26</sup> ( $\psi$ ).

$$\psi = \frac{t_{fm}}{t_{fm} + t_r}$$

Tuttavia, le linee guida dell'UIC, a seguito di campagne di analisi eseguite, forniscono i seguenti valore per il parametro  $\psi$ .

---

<sup>26</sup> Caso particolare nel quale il numero dei treni in arrivo è posto pari a  $1/(t_{fm}+t_r)$ , mentre il numero dei treni che posso transitare sono posti pari a  $1/t_{fm}$ .

---

Un valore di tale parametro pari a 0,60, valido per un periodo illimitato di tempo, corrisponde al funzionamento a regime del sistema; da questo deriva la seguente condizione  $t_r=0,67 t_{fm}$ .

Un valore di tale parametro pari a 0,75, valido per brevi archi temporali, corrisponde al funzionamento del sistema nell'ora di punta; da questo deriva la seguente condizione  $t_r=0,33 t_{fm}$ .

Il calcolo del tempo supplementare  $t_{zu}$  si basa su risultati sperimentali, i quali suggeriscono la relazione sotto riportata:

$$t_{zu} = 0,25 a$$

dove  $a$  rappresenta il numero di posti di blocco intermedi e presenti nella tratta.

### 6.1.2.2 Metodo DB

Il metodo DB<sup>27</sup>, sviluppato dalle ferrovie tedesche, permette di quantificare la potenzialità di una linea ( $P$ ) mediante la seguente relazione:

$$P = \frac{T}{t_{fm}(1+q)}$$

Nella quale  $T$  indica l'arco temporale di riferimento, mentre  $q$  è un tempo aggiunto, detto tempo cuscinetto, che tiene conto della condizione d'orario antecedente<sup>28</sup>, ma soprattutto dei parametri di regolarità d'esercizio che si intende imporre.

La determinazione di  $t_{fm}$  richiede la distinzione tra categorie di treni "veloci", denominati con  $v$ , e treni "lenti", denominati con  $l$ . La seguente relazione permette il calcolo di tale parametro:

$$t_{fm} = \frac{t_{vv}N_v^2 + (t_{vl} + t_{lv})N_vN_l + t_{ll}N_l^2}{(N_v + N_l)^2}$$

dove:

- $N_v$  e  $N_l$  sono il numero dei treni veloci e lenti che circolano sulla linea;
- $t_{vv}$ ,  $t_{vl}$ ,  $t_{lv}$  e  $t_{ll}$  rappresentano la media dei valori degli intervalli minimi tra le diverse successioni delle due categorie di treni.

---

<sup>27</sup> In tedesco: Deutsch Bahn.

<sup>28</sup> Se non fosse definita il parametro terrebbe conto di un'ipotesi relativa ad una condizione d'orario consona.



Nel termine  $q$  risiede la differenza che questo metodo possiede rispetto al metodo UIC, esposto in precedenza. La sua valutazione è possibile definendo prima il grado di fluidità  $H$ , mediante la seguente relazione:

$$H = \frac{P_f}{1440 (W_e - \frac{W_e^2}{2})}$$

dove:

- $P_f$  è il ritardo totale, valutato su base giornaliera, che si tollera venga generato nella sezione;
- $W_e$  rappresenta la probabilità di arrivo di treni in ritardo alla sezione di riferimento.

In seconda fase si procede alla determinazione del fattore di trasferimento  $U$ , mediante l'uso della seguente relazione:

$$U = \frac{t_{fm}}{P_m}$$

nella quale il parametro  $P_m$  esprime la media dei ritardi per il treno in arrivo, che vengono osservati nell'arco temporale  $T$ .

Resta solo necessaria la determinazione della probabilità di apparizione dei casi di successione di treni della stessa tipologia  $W_g$ . Essa è determinabile dall'orario o, se questo non fosse disponibile, mediante la seguente relazione.

$$W_g = \frac{t_{vv}N_v^2 + t_{ll}N_l^2}{(t_{vl} + t_{lv})N_vN_l}$$

Infine, una volta definiti  $H$ ,  $U$  e  $W_g$ , è possibile ricavare il valore di  $q$  con appositi abachi a cui si rimanda [52] [62].

### 6.1.3 Metodi di simulazione

Esistono metodi di valutazione del grado di occupazione di un tratto di linea sostanzialmente diversi da quelli precedentemente analizzati nei sottoparagrafi 6.1.1 e 6.1.2. Questi metodi, anche detti metodi analogici, simulano lo svolgimento delle circolazioni sulle linee a partire da un evento principe, il passaggio di un treno. Una volta espletato questo evento, lo stesso sarà strettamente collegato ad una serie di eventi successivi, quali le occupazioni dei binari e quindi le sezioni di blocco.

Questi tipi di modelli necessitano di strumenti informatici per essere impiegati; tuttavia a livello logico essi richiederanno alcuni parametri di ingresso quali:

- le caratteristiche fisiche e funzionali della linea e degli impianti presenti;

- 
- le prestazioni dinamiche e dimensionali del materiale rotabile;
  - la logica di sicurezza ed i criteri adottati per la regolazione della marcia dei treni.

I risultati ottenuti, a posteriori delle simulazioni, sono in linea generale grandi quantità di dati espletati in elaborati grafici nonché indicatori di riferimento utili per valutazioni quantitative della bontà dell'analisi.

La difficoltà più grande che si incontra nell'utilizzazione di questi modelli risiede nella correlazione tra parametri costruttivi e operativi. Inoltre, la numerosità dei treni da rappresentare sistematicamente e contemporaneamente pone gli utilizzatori del modello di fronte ad una moltitudine di problematiche difficilmente esprimibili attraverso una relazione di tipo analitico.

Quanto sopra descritto rende l'utilizzo di tali modelli abbastanza articolato e, pertanto, si preferisce il loro utilizzo su piccola scala, applicato a brevi tratti di linea o a singoli impianti.

D'altro canto, la possibilità di aggiornare in maniera continua i singoli parametri, nonché la rapidità di elaborazione del problema, consentono di svolgere al meglio le analisi di sensibilità degli impianti alle variazioni imposte. Questo permette anche di poter valutare situazioni ipotetiche non esistenti, antepoendo tale analisi a scelte di potenziamento impiantisco o di esercizio.

Per la realizzazione dei modelli di simulazione sono state sviluppate ed applicate numerose tecniche, riportate a seguire [52].

- Teoria dei grafi;
- reti di Petri;
- linguaggi di programmazione;
- formalismi descrittivi;
- comparazioni differenziali;
- processi analitici.

Si riporta a titolo di esempio una rapida panoramica sul programma di simulazione "Opentrack", in quanto usato su larga scala grazie alla sua semplicità di rappresentazione e modellazione della rete infrastrutturale [36].

Tale programma è in grado di riprodurre e controllare l'esercizio ferroviario attuale, di esaminare i programmi di esercizio futuri, nonché gli interventi sulla linea. Analogamente a tutti i metodi di simulazione, anche Opentrack non si presta bene per lo studio di reti articolate e complesse, sulle quali insistono ingenti volumi di traffico. È inoltre possibile riprodurre nel dettaglio il sistema di segnalamento, con le caratteristiche topologiche significative ed i tempi di relazione del sistema, e su di esso proiettare il

progetto dell'orario obiettivo. La simulazione tiene conto, inoltre, delle caratteristiche dinamiche dei treni e ne restituisce la matrice risultante.

La qualità dei risultati ottenuti applicando il metodo di simulazione al modello in esame è espressa in termini di requisiti della circolazione ferroviaria che, a seguito di perturbazioni assegnate all'orario sulla base dello storico dei ritardi di un periodo significativo, viene determinata su base statistica.

### **6.1.4 Confronto tra le metodologie di valutazione capacitiva delle linee**

Le metodologie sopra esposte sono, in particolare, metodi di tipo deterministico, probabilistico e di simulazione; possiedono benefici e limiti strettamente correlati alla natura intrinseca dei modelli stessi.

La scelta di impiego di uno di questi metodi è chiaramente funzione della precisione con la quale si cerca la soluzione del problema. Sicuramente, i metodi di simulazione permettono una buona accuratezza nella valutazione del comportamento della linea, ma la loro applicazione su reti complesse, oltre a risultare estremamente dispendiosa a livello tempistico, presenta una stretta correlazione dei risultati con l'orario di servizio impiegato nella simulazione; se questo non fosse noto, l'introduzione di arbitrarietà porterebbe ad una maggiore incertezza delle conclusioni.

Pertanto, nella maggior parte degli ambiti si predilige solitamente l'utilizzo dei metodi analitici più semplici e rapidi nella loro applicazione, almeno per una prima stima dei fenomeni coinvolti.

Confrontando, in questo frangente, i metodi analitici, è possibile affermare che l'impiego di metodi dinamici (ad esempio UIC e DB) consente il raggiungimento di risultati più precisi di quelli ottenibili con l'uso di metodi di tipo deterministico, i quali risultano sempre più empirici ed approssimati. È inoltre evidente che modelli statici abbiano una minore flessibilità rispetto alle possibili variazioni delle caratteristiche delle linee e siano, pertanto, applicabili a casistiche ristrette di infrastruttura e di esercizio. Tuttavia, il limite dei metodi di tipo probabilistico, come già esposto, risiede nella scarsa applicabilità a reti complesse caratterizzate da circolazioni fortemente eterotachiche. È doveroso evidenziare come questo aspetto sia al contempo il principale limite dei metodi probabilistici così come il punto di forza dei metodi di tipo deterministico. Per le ragioni sopra descritte, ho indirizzato la scelta del modello da applicare al caso in oggetto di questo elaborato a metodologie sintetiche di tipo deterministico, nota la forte eterogeneità dei servizi insistenti sul Nodo ferroviario di Milano e sulla rete ad esso afferente.

---

I dettagli esatti della metodologia perfezionata per tale analisi verranno esposti nel paragrafo 7.2.

## 6.2 Calcolo della capacità dei nodi

Una completa analisi delle potenzialità di un sistema ferroviario necessita, dopo aver determinato la capacità dei singoli tratti di linea, della determinazione delle potenzialità dei nodi facenti parte del sistema in esame. Citando il testo di Ricci *et al.* (2013) [52], si definiscono nodi:

*“[...] tutti i luoghi che consentono ai treni circolanti di cambiare la propria direzione di marcia, di effettuare incroci o precedenze ed effettuare soste.”*

In buona sostanza, sono da considerarsi nodi i seguenti elementi:

- stazioni;
- posti di movimento;
- posti di comunicazione;
- posti di blocco intermedi;
- altre località di servizio: bivi, posti di passaggio da semplice a doppio binario e località di servizio protette da segnali fissi.

L'analisi capacitiva dei nodi richiede metodi appositamente sviluppati e dipendenti dalle caratteristiche infrastrutturali e di circolazione che caratterizzano il nodo stesso. In fase preliminare di analisi è necessaria un'accurata individuazione dell'area che delimita l'impianto; la definizione spaziale degli impianti di stazione è identificata dal sistema di segnalamento e, in particolare, dai segnali di protezione posti in corrispondenza di tutte le linee afferenti all'impianto.

A seguire si riporteranno i fattori relativi all'esercizio che influenzano la capacità di un nodo.

- Topologia dell'impianto: riproduce l'aspetto fisico dell'impianto; vengono identificati il numero e le caratteristiche di tutte le linee afferenti l'impianto. Si definisce la disposizione dei binari di circolazione su cui si svolge il movimento e dei binari secondari adibiti alle manovre. È ulteriormente necessaria l'individuazione degli eventuali depositi e fasci presenti in impianto. Tutte queste

informazioni e altre sono sinteticamente rappresentate nel piano schematico<sup>29</sup> dell'impianto.

- Sistema tecnologico: esso identifica la tipologia di Apparato Centrale presente nella stazione o più in generale nell'impianto. Il sistema tecnologico permette l'utilizzo di una logica di liberazione rigida o elastica degli elementi di piazzale.
- Velocità di circolazione consentita dall'impianto: gli enti di piazzale che interessano un determinato itinerario influenzano la velocità di transito dell'itinerario stesso. Gli itinerari in corretto tracciato vengono affrontati a velocità maggiori rispetto agli itinerari dove sono presenti delle deviate. La conoscenza della velocità di circolazione consente di determinare il tempo di svolgimento di un determinato itinerario, nonché il tempo di indisponibilità degli enti di piazzale ad esso appartenenti.
- Programma di utilizzo della stazione: corrisponde al numero di circolazioni, ovvero di itinerari ed istradamenti, che avvengono nell'impianto in un arco temporale definito. Tipicamente l'analisi dell'impianto si svolge scegliendo come periodo di riferimento le ore di punta dell'impianto, ovvero quelle nelle quali esso è soggetto al massimo carico. Per gli impianti dotati di fasci di deposito, risulta copiosa la componente di istradamenti di ricovero e di piazzamento. Tuttavia, tali istradamenti vengono solitamente programmati in modo tale da non interferire con gli itinerari di partenza e di arrivo dei treni che svolgono un servizio viaggiatori o merci nell'impianto.

Nei metodi di analisi dei nodi essi non vengono considerati, trascurando l'effetto generato da questi movimenti. La loro effettuazione di essi in determinati periodi orari a capacità limitata è inevitabile, è necessario che essi siano considerati assimilandoli ai movimenti di treni.

- Composizione del traffico: esprime il numero di circolazioni presenti in impianto che viene suddiviso tra le diverse categorie di treni, classificate in base alla tipologia di servizio effettuato. Questi servizi sono, infatti, interessati da tempi tecnici di sosta e di percorrenza differenti. Maggiore è il livello di eterotachia e maggiore sarà l'utilizzazione dell'impianto e la sua saturazione.
- Tempi di sosta: sono differenziati per le diverse categorie di servizio effettuate in impianto. Tali tempi sono essenziali per la determinazione della capacità e della

---

<sup>29</sup> Rappresentazione non in scala dei binari e di tutti gli enti di piazzale, sulla base della planimetria di stazione. Vi sono anche rappresentati il Fabbricato Viaggiatori e altri edifici di servizio. Il documento completo viene integrato con le tabelle degli aspetti segnali, dei liberi transiti e dei Regimi di Esercizio.

---

saturazione del nodo in quanto comportano un ingente consumo di capacità dell'impianto.

- Interruzioni e rallentamenti: considerano le eventuali indisponibilità di parti dell'impianto o di enti di piazzale a causa di operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria.

La determinazione del grado di utilizzazione di un impianto è funzione di tutti i parametri sopra esposti. In accordo con la rassegna metodologica presente in letteratura per la determinazione della capacità delle linee, anche per la stima del grado di utilizzazione di un impianto esistono differenti approcci; essi possono essere ricondotti alle seguenti macro-categorie [52]:

- metodi sintetici combinatori e probabilistici;
- metodi analitici descrittivi;
- metodi di saturazione;
- metodi di simulazione.

Tali metodologie verranno esposte nei seguenti sottoparagrafi riportando, inoltre, esempi pratici di applicazione presenti in letteratura.

## **6.2.1 Metodi sintetici combinatori e probabilistici**

In questa categoria metodologica ricadono tutti quei metodi che consentono il computo di indicatori sintetici in grado di valutare la corretta funzionalità dell'orario di servizio. L'indicatore più importante, di fondamentale importanza per la determinazione del grado di saturazione nonché dei margini di capacità di un impianto, risulta essere il numero medio di circolazioni effettuabili in sicurezza  $n_m$  il quale, considerando tutte le possibili combinazioni tra itinerari riportate nella matrice degli itinerari, definisce mediamente quanti itinerari compatibili l'impianto sia in grado di attuare. La base probabilistica di tali metodi risiede nella distribuzione degli arrivi e delle partenze dei treni nell'impianto, determinando un parametro di verifica che, confrontato con il periodo di riferimento oggetto di studio, individua l'attitudine di un impianto nel supportare un determinato programma di esercizio.

I principali metodi sintetici sono il metodo di Potthoff [39], sviluppato negli anni Sessanta nell'università di Dresda, ed il metodo delle ennuple di saturazione.

### *6.2.1.1 Metodo di Potthoff*

Il metodo di Potthoff, consolidato in letteratura, consente di valutare la criticità di un impianto complesso, ovvero composto da più nodi semplici. Come verrà poi esposto più

avanti, metodi meno complessi, come il metodo di verifica dei nodi semplici, non consentono di valutare la criticità composta sulle radici degli impianti. Verrà di seguito esposto il metodo di spunto, come descritto nel documento [60].

Il metodo verifica la capacità dell'impianto di assorbire un previsto programma di esercizio, valutando se l'arco temporale di riferimento nel quale si studia l'impianto ( $T$ ) sia maggiore della somma dei tempi di occupazione ( $B$ ), ovvero dei tempi necessari ai convogli per attraversare la radice, e dei ritardi ( $R$ ) che si generano a seguito delle interferenze tra itinerari.

$$T \geq B+R$$

Il tempo di occupazione di un itinerario da parte di un treno è indicato con la variabile  $t$ . Se si assume che i tempi di occupazione siano uguali per tutti i treni e tutti gli itinerari, allora il tempo di occupazione medio complessivo risulta essere pari a:

$$B = \frac{N t}{n_m}$$

dove  $N$  è il numero totale di treni previsti durante  $T$  e  $n_m$  identifica il numero medio di circolazioni effettuabili in sicurezza; tale ultimo parametro può essere determinato attraverso la relazione di Potthoff, che deriva da valutazioni empiriche sulla matrice degli itinerari.

Gli elementi della matrice degli itinerari consentono di esprimere, per ogni coppia di itinerari possibili nell'impianto, la mutua compatibilità o incompatibilità degli stessi, attraverso una codifica tipica.

Tutti i valori diversi da  $c$  esprimono categorie diverse di incompatibilità. La legenda della codifica che usualmente viene impiegata per compilare la matrice degli itinerari è descritta nel seguente elenco.

- $c$ : confronto tra due itinerari fra loro compatibili, ovvero nella situazione per la quale non esistono punti in comune tra gli stessi;
- $a$ : confronto di un itinerario con se stesso;
- $x$ : confronto tra due itinerari che si intersecano;
- $z$ : confronto tra due itinerari convergenti;
- $s$ : confronto tra due itinerari divergenti;
- $d$ : confronto tra due itinerari posti l'uno in proseguimento dell'altro;
- $u$ : confronto tra due itinerari di scontro frontale;
- $f$ : confronto tra due itinerari che divengono, convergenti in un punto con possibilità di collisione se un treno prosegue oltre il suo punto di arresto.

---

La relazione di Potthoff è:

$$n_m = \frac{N^2}{\sum_{ij} n_i n_j}$$

Il denominatore della relazione rappresenta la sommatoria dei prodotti delle frequenze di utilizzo dell' $i$ -esimo itinerario di riga per il  $j$ -esimo itinerario di colonna della matrice degli itinerari, estesa alle sole celle della matrice che presentano segni di incompatibilità tra itinerari. Il tempo medio di occupazione del nodo da parte di gruppi di  $n_m$  treni è identificato come  $t_m$  ed è espresso come media ponderata dei tempi di interdizione delle coppie di itinerari possibili.

Il calcolo dei ritardi complessivi secondo la teoria di Potthoff si basa su un'ipotesi semplificativa, ovvero quella di assumere costante, durante tutto il tempo di riferimento  $T$ , la densità di probabilità di arrivo di un treno. Tale ipotesi può ritenersi realistica qualora si consideri un tempo  $T$  non "lungo", ad esempio non ventiquattro ore. Con questa ipotesi, si può statisticamente assumere che un generico treno abbia una probabilità  $p_i$  di trovare interdetto il proprio itinerario a causa di una interferenza pari a:

$$p_i = n_j \frac{t}{T}$$

Con  $n_j$  si indica il numero di treni che percorrono gli itinerari interferenti e  $t$ , come già esposto, rappresenta il tempo di occupazione di tali treni. Il treno interdetto subirà perciò un ritardo medio pari a:

$$R_i = n_j \frac{t^2}{2T} \quad 30.$$

La relazione generale è ricavata sommando tutti i ritardi di tutti i treni presenti nell'arco temporale  $T$  di valutazione.

$$R = \sum_{ij} n_i n_j \frac{t^2}{2T}$$

Questi ritardi costituiscono un tempo di indisponibilità dell'impianto per le linee che vi confluiscono dai due itinerari tra loro incompatibili.

Riportando le relazioni di  $B$  e di  $R$ , si ottiene la condizione generale di verifica di un impianto espressa come:

$$T \geq \frac{N}{n_m} t_m + \frac{\sum R}{n_m}$$

---

<sup>30</sup> Tale relazione non è altro che  $R_i = n_j(t/2)$ .



Se tale relazione risulta soddisfatta, è possibile assumere che l'impianto, in considerazione della propria conformazione topologica e di circolazione, sia in grado di assorbire un determinato programma di esercizio da svolgere in un tempo  $T$ . Il rapporto tra il secondo termine della disuguaglianza e il primo dà un'indicazione della capacità dell'impianto di gestire i flussi programmati in stabilità di orario. Il valore limite di tale rapporto è in genere indicato in letteratura in 0,75.

Si riportano sinteticamente i passaggi fondamentali del metodo di Potthoff:

- costruzione della matrice degli itinerari o delle interferenze;
- definizione del vettore e matrice delle frequenze;
- calcolo del numero medio di circolazioni realizzabili in sicurezza;
- costruzione della matrice dei tempi di occupazione;
- determinazione della matrice dei ritardi.

Dal punto di vista del calcolo, i tempi di interdizione vengono solitamente calcolati considerando il bloccamento dell'itinerario, differenziando tra arrivi, partenze e liberi transiti e tenendo conto delle condizioni affinché il treno a seguito non percepisca aspetti di segnalamento restrittivi.

Volendosi focalizzare sull'utilizzazione dei singoli nodi, si deriva una semplice procedura, strettamente correlata al metodo di Potthoff e denominata "metodo di verifica dei nodi semplici", anch'essa ampiamente consolidata in letteratura [31] [37] [51].

Questo metodo consente, in accordo con quanto riportato all'inizio di questo capitolo, di calcolare il ritardo che il passaggio di  $n_2$  treni provoca ad un numero  $n_1$  treni posti sull'altro ramo del nodo. In buona sostanza, semplificando il metodo di Potthoff a due soli itinerari conflittuali tra loro, si ottiene il metodo di verifica dei nodi semplici; questo risulta più semplice ed immediato quando il numero di tagli risulti basso. Inoltre, permette di evidenziare eventuali criticità locali senza che queste siano mediate sull'intera radice.

Quello che si ottiene infine è il valore di utilizzazione del nodo stesso, valore chiave sul quale si faranno considerazioni in merito alle criticità dello stesso. È possibile poi visualizzare graficamente il risultato dell'analisi sul piano delle circolazioni, di assi  $n_1, n_2$ . Questo grafico riporta sugli assi il numero di treni circolanti sul ramo principale e sul ramo deviato. La possibilità di funzionamento di un impianto semplice come un nodo elementare si ha quando la coppia  $(n_1, n_2)$  giace al di sotto dell'iperbole di equazione:

---


$$T \geq n_1 t_1 + n_2 t_2 + n_1 n_2 \frac{t_1^2 + t_2^2}{2T}$$

dove  $T$  è il tempo di riferimento dell'analisi.

Tuttavia, è comunque possibile accettare situazioni per le quali la coppia di punti risulti compresa tra la suddetta iperbole e la retta di equazione:

$$T = n_1 t_1 + n_2 t_2$$

La zona racchiusa tra queste due funzioni rappresenta il dominio delle possibili circolazioni per le quali si producono ritardi maggiori di quelli calcolati al terzo termine del secondo membro della relazione. A livello analitico, i ritardi tenderanno all'infinito quanto più ci si avvicini alla retta.

### 6.2.1.2 Metodo delle ennuple di saturazione

Tale metodo ricerca tutte le soluzioni di esercizio, incidenti su un impianto, che saturino il nodo stesso. Il principio sul quale si basa consiste nella costruzione di una matrice ove sono rappresentate tutte le coppie compatibili tra gli itinerari possibili di un impianto, per poi costruire matrici ausiliarie di volta in volta di ordine superiore. Le matrici ausiliarie riportano sulle righe le coppie di itinerari compatibili, per poi confrontarle ancora con tutti gli itinerari, determinando così le terne compatibili. Il procedimento si estingue quando sarà ottenuta una matrice di sole incompatibilità. La totalità delle ennuple<sup>31</sup> compatibili ( $IT$ ) può essere rappresentata in una struttura gerarchica chiamata "albero delle soluzioni di circolazione".

Infine, volendo ottenere quello che si è imposto come obiettivo, è necessario ricavare le combinazioni di itinerari che portano alla saturazione del nodo. A tal fine, si eliminano, a partire dalle ennuple di ordine superiore, quelle che sono totalmente comprese nelle stesse.

$$\tilde{n} = \frac{1IT_1 + 2IT_2 + \dots + nIT_n}{IT_1 + IT_2 + \dots + IT_n}$$

Confrontano il metodo di Potthoff con quello delle ennuple di saturazione, è possibile evincere che il numero di movimenti contemporanei risulta più cautelativo se derivato mediante la procedura di Potthoff, mentre lo stesso valore calcolato con il metodo delle ennuple di saturazione è il valore determinato mediante calcolo esatto. D'altra parte, la possibilità di organizzare i treni in lotti che portino a saturazione il nodo, come nel caso

---

<sup>31</sup> Itinerari singoli, coppie, terne, ecc. indicati nella formula con  $IT$ .

delle ennuple di saturazione, non è facile da ottenersi e di solito rappresenta una condizione limite per l'impianto stesso.

I limiti di tali metodologie sono legati alle ipotesi probabilistiche condotte sugli arrivi e sulle partenze dei treni dall'impianto. Le ipotesi, inoltre, risultano perdere veridicità nel caso di analisi condotte su periodi lunghi, per esempio un'intera giornata, mentre sono abbastanza realistiche nei casi di analisi condotte su periodi ristretti, per esempio l'ora di punta.

### **6.2.2 Metodi analitico descrittivi**

I metodi di tipo analitico descrittivo sono, in generale, metodi agevoli di determinazione preliminare di soluzioni. Si basano sulla modellizzazione analitica del sistema ferroviario oggetto di studio analizzando, per ogni istante temporale, lo stato di occupazione o liberazione di un determinato ente presente nell'impianto.

Il grado di utilizzazione di un ente o di una sezione di blocco viene determinato analizzando i diagrammi temporali e, pertanto, tale parametro sarà da considerarsi effettivo e non stimato. Successivamente si ricava anche il margine di utilizzazione per differenza. Questa categoria di modelli richiede, per poter essere impiegata, la conoscenza della configurazione di piazzale di tutti gli enti, nonché del programma di esercizio di stazione.

Sarà adesso esposta una revisione dello stato dell'arte in merito all'impiego e alla stesura di metodologie di tipo deterministico in abito italiano.

Uno studio, pubblicato sulla rivista "Ingegneria Ferroviaria" e risalente al 1979 [11], tratta della definizione di un modello di tipo analitico per la determinazione della capacità di un nodo ferroviario. In tale studio venne considerata anche la regolarità dell'impianto ai fini dell'analisi.

Florio e Malavasi (1984) [15] affrontarono la determinazione della potenzialità di un nodo complesso introducendo una parte di analisi dei ritardi.

Nel sottoparagrafo 6.1.2 è stato introdotto lo studio di Canciani (1999) [6] in merito alla formulazione teorica della teoria delle code; anche in questo frangente si richiama tale articolo nel quale l'autore propone, utilizzando la teoria sopra citata, la verifica di stazioni di diramazione caratterizzate da tante linee in arrivo e una sola linea in partenza, nonché di impianti di smistamento. Il procedimento si fonda sul confronto tra la distribuzione prevista degli arrivi e la disponibilità dei posti di servizio. Vengono considerate tre distribuzioni degli arrivi: una deterministica, una esponenziale ed una secondo la distribuzione di Erlang.

---

Antognoli *et al.* nel 2001 [2], effettuano uno studio comparativo tra i risultati ottenibili con i metodi analitici di Potthoff e con un metodo di analisi sperimentale. Tale studio consiste nell'osservazione dettagliata, condotta su sessanta giorni, dell'esercizio dell'impianto e delle modalità di realizzazione della circolazione. L'impianto preso in esame fu quello di Ciampino ed i risultati ottenuti evidenziarono una buona congruenza tra l'esercizio reale ed i risultati analitici derivati dalle due metodologie applicate. De Vita *et al.* (2002) [13] applicano, alla stazione di Tarvisio Boscoverde, tre diverse metodologie di analisi, confrontandone i risultati. I metodi applicati sono i seguenti: il metodo delle curve di riempimento, un'evoluzione del diagramma di Gantt ed il metodo di Potthoff. Tutte e tre le metodologie conducono a risultati confrontabili e prossimi ai valori reali osservati in impianto.

Ciuffini nel (2007) [10] propone un metodo di analisi di una stazione elementare di testa nell'ipotesi di orario a cadenzamento rigido. Gli obiettivi di tale studio sono due: esaminare tutte le strutture di cadenzamento possibili, identificando quella in grado di soddisfare i vincoli, e calcolare la capacità dell'impianto. L'analisi viene condotta su una stazione di testa ove è presente una linea affluente e due binari di stazionamento per poi generalizzare i risultati per una stazione dotata di  $n$  binari di attestamento.

Le metodologie di tipo analitico descrittivo sono molto sensibili ai parametri di ingresso del modello; pertanto, pur rimanendo un valido strumento con il quale determinare i vincoli del sistema, essi portano a risultati molto diversi tra loro utilizzando un metodo piuttosto che un altro [52].

### 6.2.3 Metodi di saturazione

Questa tipologia di metodi consente la valutazione della capacità teorica di un nodo, mediante l'uso del metodo di saturazione, a partire dai seguenti dati di ingresso:

- la configurazione degli enti di piazzale;
- il programma di esercizio della stazione;
- i tempi minimi di successione tra i treni;
- i margini di regolarità.

Di fatto questi procedimenti applicano il metodo di saturazione delle tracce agli impianti, come espone Lindner (2011) [28] nel suo articolo, usufruendo di programmi per una più precisa modellazione del sistema ferroviario.

Tra i più diffusi si citano i programmi Virato [61], in grado di applicare la compattazione delle tracce determinando il livello di saturazione di un impianto, e Railcap [41], con il

quale è possibile imporre variazioni al programma di esercizio verificando l'effetto di tali misure correttive.

### **6.2.4 Metodi di simulazione**

Analogamente a quanto esposto nel sottoparagrafo 6.1.3, anche tra i metodi di analisi degli impianti sono disponibili procedure di simulazione che, ad opera di programmi, consentono la verifica e la validazione di un orario. Gli strumenti a disposizione differiscono, nei vari programmi, per le tipologie dei parametri di ingresso necessari, nonché per complessità ed accuratezza dell'analisi.

Il programma più diffuso per la valutazione della capacità dei nodi rimane, come per le linee, Opentrack. Esso è in grado di studiare una rete ferroviaria anche complessa, valutando gli effetti dell'orario programmato e determinando il numero di movimenti massimi realizzabile da un impianto.

Sono presenti in letteratura casi di applicazione di procedure simulative a realtà concrete. Cappelli *et al.* (1996) [7] elaborano un programma di simulazione che, oltre a riprodurre il funzionamento di una stazione con un determinato programma di esercizio, permette di ottimizzare la circolazione nel caso di regime perturbato.

Crotti *et al.* (2005) [12], usufruendo del linguaggio di programmazione Visual Basic for Application, costruiscono un modello di simulazione che permette l'analisi di un impianto di stazione; tale modello rilascia come risultato le percentuali di utilizzo dell'impianto per le operazioni di sosta, movimenti treno, manovre e interdizioni. Il modello di simulazione viene poi applicato alla stazione di Torino Porta Nuova.

I vincoli dei modelli di simulazione risiedono nell'elevata complessità degli stessi e, in particolare, nel copioso numero di variabili di ingresso di cui il modello necessita per eseguire l'analisi. Quanto detto indirizza l'uso di queste procedure verso casi studio isolati e facilmente gestibili, mentre per l'analisi di reti complesse ed estese si preferisce l'impiego di metodi di tipo sintetico o analitico.



---

# **Metodologia impiegate per le valutazioni capacitive della rete e degli impianti**

L'analisi capacitiva della rete e degli impianti oggetto di questo studio è stata condotta perfezionando, in accordo con quanto descritto nel Capitolo 6, un metodo analitico in grado di determinare il livello di utilizzazione degli elementi che compongono il sistema ferroviario del Nodo di Milano e parte della rete ad esso afferente. Per l'analisi capacitiva delle linee a doppio binario e delle linee a semplice binario, sono state sviluppate due metodologie affini e, inoltre, un metodo di valutazione delle interferenze tra i flussi di progetto in prossimità degli impianti.

## **7.1 Parametri di ingresso del modello**

Si esporranno quali sono i parametri di ingresso del modello, fornendo anche i valori tipici degli stessi.

Come verrà poi evidenziato, questo modello di valutazione permette l'analisi capacitiva, in particolare dei tratti omogenei della rete, rappresentando sotto forma matriciale l'incidenza dei servizi sulle singole tratte in esame. Le informazioni associate, relative sia ai tratti di rete che ai servizi incidenti su di esse, sono riportate nei successivi sottoparagrafi.

---

### **7.1.1 Parametri di ingresso per i tratti omogenei della rete**

L'uniformità delle caratteristiche dei tratti di rete permette di individuare i segmenti elementari del sistema ai quali applicare il modello analitico. Nel seguente elenco si riportano gli elementi necessari, da attribuire ad un tratto di linea elementare, che devono rimanere costanti per tutto il tratto stesso:

- il numero di binari della tratta;
- la specifica di distanziamento;
- l'assenza di bivi o diramazioni;
- l'assenza di binari di precedenza.

È, inoltre, necessario che una tratta sia delimitata da due località di servizio. Questo procedimento porta alla digitalizzazione di un grafo di rete, da adesso rappresentato da un vettore i cui elementi costituiscono le righe delle matrici di analisi.

Sono stati definiti cinque livelli di velocità, precedentemente introdotti nel sottoparagrafo 6.1.1, ai quali sono stati attribuiti i diversi servizi del modello di offerta. Tali classi rispecchiano approssimativamente: la categoria dei servizi RE ed RV, i servizi regionali, i servizi suburbani ed i servizi merci; sono meglio descritte a seguire.

- Livello 1: servizi ad Alta Velocità, Eurostar, Eurocity, in alcuni casi Intercity.
- Livello 2: servizi Regionali Veloci, Regio Express e, in alcuni casi, Intercity.
- Livello 3: servizi Regionali che per parte del loro percorso non fermano in alcune località.
- Livello 4: servizi di tipo Regionale e Suburbano che fermano in tutte le località.
- Livello 5: relazioni del trasporto ferroviario merci.

L'attribuzione dei tempi di percorrenza di ogni tratta elementare è stata determinata sulla base dell'orario programmato, distinguendo, inoltre, tali tempi per diverse classi di velocità. Eventuali tempi di fermata all'interno della tratta omogenea vanno a sommarsi al tempo di percorrenza.

Ad ogni tratto elementare della rete è stata associata una specifica tecnica. Tale intervallo temporale risulta correlato alle caratteristiche tecnologiche nonché alla metrica del regime di circolazione presente in linea. I valori identificati sono stati estrapolati dallo Scenario Tecnico, documento interno di RFI S.p.A., e riportati a seguire.



I valori delle specifiche di distanziamento adottati sono i seguenti:

- Blocco Automatico Banalizzato o Blocco Automatico (BAB/BA): 5 o 6 minuti, in specifici casi particolari 4 o 3 minuti;
- European Rail Traffic Management System (ERTMS): 5 minuti;
- Blocco Elettrico Manuale (BEM): sblocco + 3 minuti;
- Blocco Conta Assi (BCA): sblocco + 2 minuti.

I valori delle specifiche d'interferenza, correlate alle specifiche di distanziamento delle tratte afferenti e alle caratteristiche topologiche dell'impianto, che sono stati considerati sono riportati a seguire:

- Interferenza a monte di transito: pari alla specifica di distanziamento sulla tratta in corretto tracciato (5 minuti se a sblocco);
- Interferenza a monte di itinerario di partenza: dipendente dalla topologia di impianto, tipicamente 2 minuti;
- Interferenza a monte di itinerario di arrivo: dipendente dalla topologia di impianto, tipicamente 3 minuti.

È stato infine specificato il numero di binari della linea, indicando con la lettera *S*, le linee a semplice binario, e con la lettera *D*, le linee a doppio binario.

### **7.1.2 Parametri di ingresso per le relazioni**

La modellazione delle relazioni porta alla determinazione di un vettore i cui elementi costituiscono, mutuamente ai tratti omogenei di rete, le colonne delle matrici di analisi. Per ogni relazione<sup>32</sup>, attuale o futura, che interessa almeno un tratto omogeneo di rete, sono stati specificati la frequenza dello stesso nella fascia di punta e di morbida, il tipo di punta e se possa subire o meno una precedenza.

La frequenza del servizio nella fascia di punta e di morbida, riferita al traffico viaggiatori, è necessaria per stabilire quale sia l'ora di massimo carico per ogni tratta omogenea della rete. Poiché in alcuni casi le frequenze nei due sensi di marcia non sono le medesime, si identifica una direzione di marcia detta "di flusso", ovvero quella prevalente, così come una di controflusso. Vengono successivamente specificate le frequenze nelle due direzioni, tanto per le fasce di punta quanto per le fasce di morbida viaggiatori. Sono considerate anche le relazioni della tipologia *spot*, le quali non sono caratterizzate da una frequenza univocamente definita. Si impone, per tali servizi, una frequenza ipotetica di due ore. Restano, infine, scoperte le relazioni di tipo merci che, non essendo

---

<sup>32</sup> Sono state considerate anche le relazioni merci.

---

caratterizzate da un servizio cadenzato, si vedono attribuito un valore di frequenza che rispecchia direttamente il numero di corse presenti nell'ora di punta nonché di morbida viaggiatori.

Viene anche specificata la tipologia di punta che caratterizza un servizio, sia essa bidirezionale, denominata dalla la lettera  $B$ , sia essa unidirezionale, denominata dalla lettera  $U$ . La spiegazione di questo parametro risiede nella presenza di un controflusso, di frequenza pari a quella del flusso della direzione principale, che si esplica nell'ora di punta viaggiatori. Un'altra possibilità è quella per la quale la direzione principale e quella opposta siano caratterizzate dagli stessi volumi dei flussi di traffico. È sempre assunto che i volumi nella fascia di punta viaggiatori del mattino si ripetano in modo simmetrico nella fascia di punta viaggiatori della sera.

Il tempo di riferimento per l'analisi capacitiva è sempre pari ad un'ora.

## **7.2 Applicazione del metodo analitico ai tratti omogenei di rete**

Il metodo di analisi capacitiva dei tratti omogenei di rete è stato derivato dal metodo di compattazione delle tracce, discusso nel sottoparagrafo 6.1.1.

Una volta definiti tutti i parametri di ingresso di cui al sottoparagrafo 7.1.1 per ogni tratta, il grado di utilizzazione viene valutato distinguendo tale valore per le fasce di punta e di morbida viaggiatori. Nel caso di linee a doppio binario, il risultato ottenuto si riferisce al binario della direzione più carica; è pertanto necessario comporre i flussi in modo coerente con le direzioni di flusso e di controflusso relative alla tipologia di punta che appartiene ad un determinato servizio. Il grado di utilizzazione della tratta è quello più elevato tra quello della fascia di punta viaggiatori e quello della fascia di morbida viaggiatori.

### **7.2.1 Metodo analitico per linee a doppio binario**

Sulla base di quanto sopra esposto, a posteriori del reperimento di tutti i dati propedeutici alla valutazione, si applica il modello di analisi e si procede con il calcolo del grado di utilizzazione dei tratti di rete omogenei per le linee a doppio binario [59].

Ad ogni tratta omogenea è associato un tempo di percorrenza di riferimento, il quale si ricava a partire dai tempi di percorrenza massimo e minimo di ogni tratta, in funzione

della classe di percorrenza<sup>33</sup> considerata. Si raggruppano i servizi per percorrenza di tratta, contando il numero degli stessi previsti nell'arco temporale di riferimento  $T$ . Viene costruita una matrice che riporta sulle righe l'elenco di relazioni e sulle colonne le classi di percorrenza associate ai relativi tempi. Gli elementi di tale matrice esprimono la differenza, in valore assoluto, dei tempi di percorrenza di una relazione e della classe di percorrenza: vengono dunque moltiplicati tali elementi per i rispettivi volumi. Infine, si effettua la somma per colonne individuando il tempo che minimizza tale la somma; esso viene definito tempo di percorrenza di riferimento. Il perditempo per eterotachia  $P_e$  risulta pari alla somma per colonna dei tempi.

L'utilizzazione totale  $U_{tot}$ , espressa in minuti, è data dalla seguente relazione:

$$U_{tot} = VS_d + P_e$$

dove:

- $V$  esprime il volume totale insistente sulla tratta;
- $S_d$  è la specifica di distanziamento, espressa in minuti;
- $P_e$  indica il perditempo per eterotachia.

Il grado di utilizzazione  $U_{\%}$  è espresso come rapporto percentuale tra l'utilizzazione della linea e l'intervallo di tempo di riferimento.

$$U_{\%} = \frac{U_{tot}}{T}$$

La procedura può essere riassunta nei seguenti punti:

- reperimento dei dati di ingresso del modello quali: volumi di traffico, tempi di percorrenza per ogni classe e specifica di distanziamento, distinti per ogni tratta da analizzare;
- costruzione della matrice delle differenze tra i tempi di percorrenza e le classi.
- determinazione dei possibili tempi di riferimento e delle perdite per eterotachia associate a ciascuna tratta della rete;
- determinazione del grado di utilizzazione della tratta.

Per una più efficace rappresentazione dei risultati verranno proposte delle mappe ove sarà rappresentato il Nodo di Milano allargato in maniera schematica. Ad ogni elemento verrà poi associato colore che, in accordo con la legenda proposta in Tabella 21, corrisponderà ad un determinato grado di utilizzazione dell'elemento stesso, nonché la severità delle condizioni di circolazione.

---

<sup>33</sup> Sinonimo di Livello di Velocità.

---

Si riporta la seguente scala cromatica:

<b>Grado di utilizzazione per segmenti a doppio binario</b>		
<b>Verde scuro</b>	0 ÷ 70 %	Ampia sostenibilità, condizione di non saturazione
<b>Verde chiaro</b>	70 ÷ 83 %	Sostenibilità, condizione di non saturazione
<b>Giallo</b>	83 ÷ 92 %	Attenzione, condizione di prossimità di saturazione
<b>Rosso</b>	92 ÷ 100 %	Potenziale criticità, condizione di incipiente saturazione
<b>Viola</b>	>100 %	Insostenibilità, condizione di sovrasaturazione

Tabella 21 - Grado di utilizzazione degli archi di rete per segmenti a doppio binario

## 7.2.2 Metodo analitico per le linee a semplice binario

Segmenti di rete a semplice binario sono studiati, nell'ottica di valutare quale sia il loro grado di utilizzazione, con modalità analoghe a quelle impiegate per i segmenti a doppio binario. Tuttavia, a differenza di questi, tali segmenti richiedono lo studio della circolazione in entrambe le direzioni; si introduce, pertanto, un tempo di bloccamento<sup>34</sup> del segmento che sostituirà, a livello concettuale, la specifica di distanziamento. L'utilizzazione della tratta omogenea viene determinata come somma dei tempi di bloccamento, mentre il grado di utilizzazione, come di consuetudine, viene valutato come rapporto tra l'utilizzazione totale e l'arco temporale di riferimento dell'analisi.

Anche per le linee a semplice binario è stato definito un criterio cromatico di rappresentazione del livello di utilizzazione delle tratte presenti. Inoltre, per tali tratte il grado di utilizzazione risulta il medesimo per entrambe le direzioni e pari al massimo tra quello valutato nell'ora di punta viaggiatori e quello valutato durante l'ora di morbida viaggiatori.

In Tabella 22 si riportano i criteri impiegati per il grado di utilizzazione dei segmenti a semplice binario.

---

<sup>34</sup> Il tempo di bloccamento è definito come la somma del tempo di percorrenza di un treno che transita sulla tratta in esame, considerando gli eventuali allungamenti dovuti alla presenza di deviatori a bassa velocità a termine tratta, e della specifica che identifica il tempo necessario per l'impiego di una sezione di semplice binario da parte di un treno dopo che è stata utilizzata da un treno precedente, nello stesso senso o in senso opposto.

<b>Grado di utilizzazione per segmenti a semplice binario</b>		
<b>Verde</b>	0 ÷ 70 %	Sostenibilità, condizione di non saturazione
<b>Giallo</b>	70 ÷ 91 %	Attenzione, condizione di prossimità di saturazione
<b>Rosso</b>	91 ÷ 100 %	Potenziale criticità, condizione di incipiente saturazione
<b>Viola</b>	>100 %	Insostenibilità, condizione di sovrasaturazione

Tabella 22 - Grado di utilizzazione degli archi di rete per segmenti a semplice binario

### 7.3 Applicazione analitico per la valutazione delle interferenze tra i flussi

I flussi e le loro interferenze sono stati valutati nei nodi elementari, ipotizzando l'itinerario percorso da orario di ogni relazione in ogni impianto e distinguendo i flussi nella direzione pari da quella dispari.

Si definiscono interferenti tutti quegli itinerari mutuamente incompatibili che insistono su un nodo elementare; è quindi evidente che una relazione, mentre percorre il suo itinerario, insista su più nodi elementari presenti nella radice di un impianto. Per ogni nodo elementare le relazioni posso trovarsi a percorrere itinerari devianti, itinerari di corretto tracciato, itinerari di arrivo, itinerari di partenza ed itinerari di transito. Queste diverse situazioni differiscono per la specifica d'orario, sempre nell'ottica di interporre un intervallo temporale tra il passaggio di due treni consecutivi. Nel caso di itinerari di partenza o di arrivo, ed in generale mentre un treno sia in procinto di fermarsi, si accetta che, durante la marcia, il treno possa recepire aspetti di segnalamento restrittivi [50]; viceversa, per itinerari di transito in corretto tracciato, è doveroso assicurare che il convoglio percepisca sempre il segnale di via libera incondizionata, limitando i perditempo durante la marcia.

La valutazione delle interferenze tra i flussi è effettuata in riferimento ai nodi elementari che, in genere, vengono percorsi dalle relazioni in una sola direzione; pertanto, si costruisce una matrice di incidenza dove vengono disposte le relazioni sulle colonne ed i nodi elementari sulle righe. Le celle di questa matrice contengono un codice alfabetico che rispecchia le modalità con le quali una relazione interessa il nodo. Il codice alfabeto identifica le seguenti proprietà:

- direzione di percorrenza della relazione con le lettere: *P* (pari), *D* (dispari) ed *E* (entrambe);
- itinerario di corretto tracciato, con la lettera *C*, o deviato, con la lettera *D*;
- tipologia di movimento: *A* (arrivo), *P* (partenza) e *T* (transito).

Queste tre informazioni vengono unite nella sequenza sopra riportata, definendo il codice alfabetico di riferimento per ogni nodo interessato da almeno due relazioni. Infine, sulla base di tali informazioni è associata la specifica a monte da applicarsi e, considerando i volumi delle diverse relazioni, è calcolata l'utilizzazione totale del nodo. La scala cromatica ed i relativi valori di riferimento sono, in analogia alle prassi riscontrate in letteratura, i seguenti:

<b>Grado di utilizzazione per i nodi elementari</b>		
<b>Bianco</b>	0 ÷ 50 %	Sostenibilità, condizione di non saturazione
<b>Giallo</b>	50 ÷ 75 %	Attenzione, condizione di prossimità di saturazione
<b>Rosso</b>	75 ÷ 85 %	Potenziale criticità, condizione di incipiente saturazione
<b>Viola</b>	>85 %	Insostenibilità, condizione di sovrasaturazione

Tabella 23 - Grado di utilizzazione per i nodi elementari

## 7.4 Conclusioni esplicative sul metodo analitico

### 7.4.1 Matrici di incidenza

La complessità della rete rende necessaria l'introduzione di una matrice di incidenza utilizzata a supporto del modello per il calcolo del grado di saturazione dei tratti di rete omogenei.

Si costruisce dunque una matrice di incidenza che riporta sulle righe i tratti di rete omogenei, mentre sulle colonne un elenco di tutte le relazioni. Gli elementi di tale matrice possono assumere valori pari a zero o uno; se una relazione interessa un tratto di rete, il valore è unitario, altrimenti risulta zero e, nel caso di linee affiancate, si fa riferimento all'istadamento d'impostazione nell'orario programmato.

Questa matrice viene replicata distintamente per le diverse classi di velocità inserendo gli elementi unitari soltanto per le relazioni corrispondenti alla classe di percorrenza di riferimento. Successivamente tali matrici concorrono, insieme ai volumi di traffico e a tutti gli elementi descritti al sottoparagrafo 7.1.1, alla determinazione del grado di utilizzazione di tutti i tratti di rete omogenei.

Per le linee a doppio binario, si ha un grado di utilizzazione di morbida e uno di punta per ogni senso di marcia ed il grado di utilizzazione della linea è il maggiore dei quattro.

## **7.4.2 Considerazioni numeriche sul grado di utilizzazione**

I valori limite del grado di utilizzazione, nonché i valori limite esposti nei sottoparagrafi 7.2.1 e 7.1.2 e nel paragrafo 7.2, che convenzionalmente vengono usati per definire le condizioni di saturazione di un elemento del sistema ferroviario, differiscono per linee a doppio o singolo binario.

La condizione di saturazione si ha per entrambe le tipologie di linee quando il grado di saturazione risulta maggiore del 100%, tuttavia la soglia di passaggio tra la condizione di non saturazione alla prossimità di saturazione non è la stessa.

Per le linee a doppio binario è posta pari all'83% che, in buona sostanza, rappresenta la possibilità di inserire una traccia aggiuntiva ogni mezz'ora in relazione ad un valore di specifica di distanziamento pari a 5 minuti<sup>35</sup>.

Per le linee a semplice binario si adotta un valore limite pari a 91%<sup>36</sup> che deriva da considerazioni sulle soglie di puntualità dei servizi. Tipicamente, le linee a semplice binario sono interessate, per la quasi totalità, da treni del servizio regionale, i quali sono considerati in orario se arrivano a destino che un ritardo di non oltre cinque minuti rispetto all'orario programmato. Il margine di una traccia ogni ora consente di limitare, ottimisticamente di eliminare, la propagazione dei ritardi ai treni dell'ora successiva, nel caso la circolazione si stia svolgendo al limite della puntualità.

In conclusione, è necessario un breve inciso sulle metodologie scelte. L'impiego di metodologie analitiche per la determinazione del grado di utilizzazione della rete e dei nodi elementari fonda le sue radici sulla grande versatilità di tali modelli. È ormai consolidato in letteratura che l'utilizzo di modelli meno complessi e versatili, anche per l'analisi di problemi complessi, costituisca un caposaldo del metodo scientifico [32].

---

<sup>35</sup> Quindi dieci tracce/ora. Si ricava pertanto  $10/12=0,83$ .

<sup>36</sup> In altre parole,  $55/60=0,91$ .

---

A dimostrazione di questo, si evidenziano i gradi benefici che l'utilizzo di procedure "semplici" permette; infatti, nella quasi totalità dei casi, essi portano alla completa riproducibilità della trattazione da parte di tutti, rendendo la stessa trasparente.



---

## 8

# **Applicazione del metodo analitico: scenari precedenti al Passante AV**

In questo capitolo saranno analizzate le configurazioni infrastrutturali del Nodo allargato di Milano, negli scenari precedenti alla realizzazione del Passante AV, in considerazione dello sviluppo del modello di offerta. Tale analisi ha lo scopo di creare una base di partenza sulla quale valutare le ricadute commerciali delle successive fasi di attivazione infrastrutturale del Passante AV. In particolare, si studiano i seguenti scenari:

- scenario base, che rappresenta la situazione infrastrutturale, nonché il modello di offerta, relativi all'orario di servizio dicembre 2020 – dicembre 2021;
- scenario futuro 2026, che fotografa la situazione futura prevista entro l'anno 2026, sia in merito alla configurazione infrastrutturale, sia per quanto concerne le modifiche all'offerta di trasporto;
- scenario futuro oltre 2026, nel quale si considereranno un modello di rete ed uno di servizio ragionevolmente veritieri, pur con un certo grado di aleatorietà dovuto alla lontananza dell'orizzonte temporale.

L'applicazione del metodo analitico è in accordo con quanto esplicito nel Capitolo 7. Per una migliore accuratezza dei risultati ho scelto di suddividere la rete in tratti di linea omogenei, assegnando ad essi proprietà caratteristiche, quali il numero di binari e la specifica di distanziamento.

Ho parallelamente generato un vettore contenente tutte le relazioni insistenti sul Nodo allargato di Milano e considerate ai fini dell'analisi capacitiva, suddivise per cinque diverse classi di percorrenza.

---

Tali dati sono stati poi fatti convergere in una matrice, denominata “matrice di incidenza”, contenete valori nulli o unitari, replicata per ciascuna classe di percorrenza. Ho riportato in un elenco tutte le quantità necessarie per eseguire l’analisi capacitiva di un segmento di rete e di un nodo.

- Classe di percorrenza assegnata ad ogni relazione;
- frequenza delle relazioni nell’ora di punta e nell’ora di morbida;
- tempo di percorrenza di ogni segmento di rete distinto per le diverse classi di percorrenza;
- specifica di distanziamento di ogni segmento omogeneo di rete;
- specifica di interferenza;
- numero di binari della tratta.

## **8.1 Scenario base**

Lo scenario base si riferisce, come si è detto, ad una situazione infrastrutturale di partenza, nonché al modello di offerta previsto con l’entrata in vigore dell’orario di servizio dicembre 2020 – dicembre 2021. Ritengo ribadire che lo studio di tale scenario sia utile per la costruzione di una base solida sulla quale poter confrontare i risultati numerici ottenuti dall’analisi degli scenari successivi.

La configurazione infrastrutturale di riferimento, per questo scenario, è stata descritta nel dettaglio nel paragrafo 3.1, al quale si rimanda. Tale situazione rispecchia le attuali caratteristiche della rete, con l’aggiunta di limitate modifiche inerenti ad alcuni interventi infrastrutturali la cui attivazione è prevista entro la fine dell’anno 2021.

Il modello di offerta considerato, descritto nel Capitolo 4, risulta essere coerente con la configurazione dei servizi in vigore con l’orario 2021.

L’applicazione del metodo analitico, derivato dal metodo di compattazione delle tracce e discusso nel Capitolo 7, consente di ricavare il grado di utilizzazione dei tratti elementari di rete e degli impianti, in funzione del carico che insiste sugli stessi.

I risultati numerici ottenuti sono riportati per esteso nell’Appendice C, che evidenzia tutti i gradi di utilizzazione, espressi in percentuale, dei segmenti omogenei di linea e dei nodi elementari presenti negli impianti.

Si riporta invece di seguito la rappresentazione grafica dei risultati ottenuti con l’applicazione del metodo analitico, esplicitando la presenza di tratte e di nodi critici rispettivamente in Tabella 24 e Tabella 25.

<b>TRATTA</b>	<b>UTILIZZAZIONE [%]</b>
Premosello – Arona	<b>95</b>
Busto Arsizio – Parabiago	<b>93</b>
Parabiago – Rho	<b>105</b>
Luino – Laveno	<b>118</b>
Mornago – Gallarate	<b>93</b>
Quadrivio Turro – Milano Lambrate (Merci)	<b>100</b>
Milano Rogoredo – Certosa di Pavia	<b>93</b>
Milano Rogoredo – Melegnano (LL)	<b>102</b>
Melegnano – Tavazzano	<b>100</b>
Tavazzano – Lodi	<b>100</b>
Monza – Sesto San Giovanni (Chiasso)	<b>93</b>
Ponte San Pietro – Bergamo	<b>97</b>
Castellucchio – Mantova	<b>97</b>

Tabella 24 - Utilizzazione delle tratte critiche nello scenario base 2021

<b>NODO</b>	<b>UTILIZZAZIONE [%]</b>
Mirabello	<b>78</b>
Turro Cintura E	<b>82</b>
Lambrate 2N	<b>83</b>
Sesto 3S	<b>81</b>

Tabella 25 - Utilizzazione dei nodi critici nello scenario base 2021



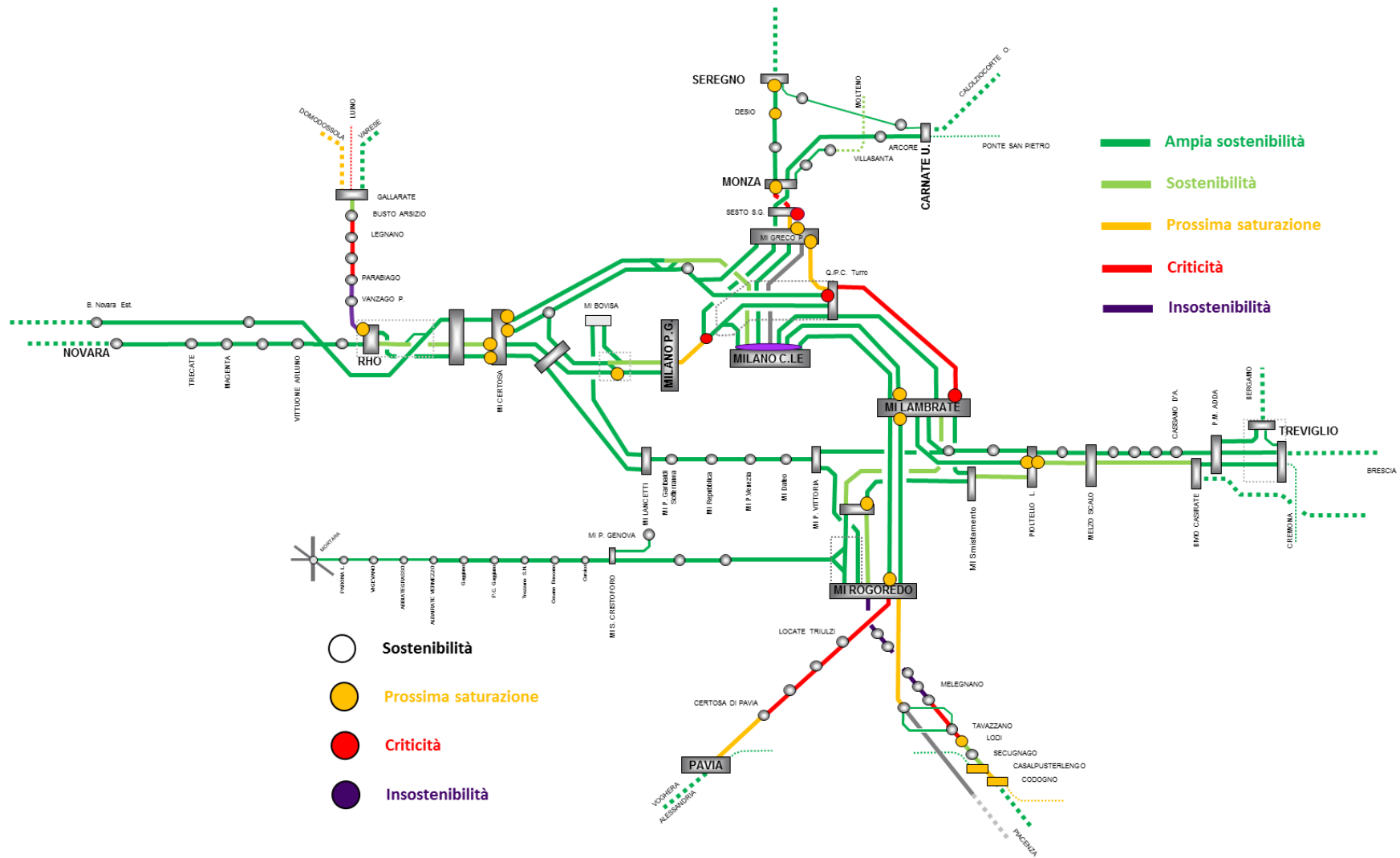


Figura 37 - Rappresentazione grafica dei risultati dell'analisi numerica applicata allo scenario base 2021



L'analisi numerica applicata allo scenario base, relativo all'orario di servizio 2021, permette di evidenziare alcune criticità, sinteticamente espresse nelle tabelle sopra riportate.

Nello specifico, risulta in prossimità di saturazione la tratta Premosello – Arona, sulla quale insiste un modello di esercizio fortemente eterotachico che vede la compresenza di servizi EC ed RE diretti a Domodossola, insieme ai Merci provenienti o diretti al Valico del Sempione.

Anche il segmento Busto Arsizio – Parabiago presenta un'utilizzazione maggiore alla soglia di criticità. La forte eterotachicità, nonché la grande quantità di servizi operanti sulla direttrice Rho – Gallarate, provocano criticità in quasi tutti i segmenti della tratta. La tratta Parabiago – Rho, invece, risulta aver superato il limite di saturazione. Per tale tratta il modello di esercizio applicato non è sostenibile; si rende necessario un intervento di potenziamento infrastrutturale.

A seguito dell'incremento dei servizi merci, a partire dall'orario 2021 si crea una sovrasaturazione della direttrice per Luino. La tratta più critica risulta essere quella compresa tra Luino e Laveno, dove insistono i servizi regionali Milano – Luino e Gallarate – Luino, congiuntamente ai servizi merci provenienti da Luino e diretti a sud via Ispra o via Ternate. Tale linea è particolarmente critica in quanto a semplice binario, caratteristica che ne limita fortemente la capacità. Sono previsti potenziamenti in termini di modulo, di massa assiale e di sagoma limite ammessi sulla linea. Questi interventi consentiranno il possibile aumento delle merci trasportate, senza dover incrementare il numero di tracce. Per le stesse ragioni anche la tratta Mornago – Gallarate, a semplice binario, risulta prossima alla saturazione.

La tratta più critica all'interno del Nodo di Milano è la tratta quadrivio Turro – Milano Lambrate, lungo la linea Merci, che presenta un valore di utilizzazione pari al 100%, ovvero di completa saturazione. Questa linea è infatti esercita in condizioni di forte eterotachicità ed è caratterizzata dalla presenza di numerosi servizi regionali e merci. La tratta Milano Rogoredo – Certosa di Pavia evidenzia un grado di utilizzazione pari al 93%: a fronte di questa situazione, è previsto il progetto di potenziamento della linea tra Milano e Pavia.

Risulta oltre il limite di saturazione anche la variante lenta (*LL*) della direttrice Milano – Bologna, nella tratta Milano Rogoredo – Lodi, sulla quale si ha una discontinuità della specifica di distanziamento. La saturazione della tratta si raggiunge nella fascia di morbida, a causa dell'aumento del traffico merci in direzione Cava Tigozzi e Piacenza. Per quando riguarda il quadrante nord, la tratta maggiormente critica risulta essere la Monza – Sesto San Giovanni, prossima alla saturazione. A fronte di questa situazione è previsto il potenziamento della direttrice Milano – Chiasso, di cui si terrà conti negli scenari successivi.

---

Sono poi presenti ulteriori criticità in alcune tratte minori, quali Ponte San Pietro – Bergamo, dove è previsto il raddoppio nello scenario 2026, e Castellucchio – Mantova, tratta a semplice binario.

A seguito dell'analisi numerica sui nodi elementari, i nodi risultati critici sono i seguenti:

- Bivio Mirabello, con grado di utilizzazione del 78%;
- Turro Cintura Est, critico a causa dei tagli che vengono effettuati dai servizi merci diretti sulla linea Cintura. Il suo grado di utilizzazione è pari all'82%;
- Lambrate 2° binario radice nord, dove si verificano tagli per la presenza di due deviatori simmetrici, nei quali convergono i binari I e III, nonché II e IV. Il grado di utilizzazione di questo nodo è pari all'83%;
- Sesto San Giovanni 3° binario radice sud, utilizzato all'81%.

Non è stata effettuata un'analisi di dettaglio della radice di Milano Centrale, le cui criticità d'impianto sono state dettagliatamente analizzate nel documento [56].

## **8.2 Scenario futuro 2026**

La prima evoluzione dello scenario di base è collocata nell'anno 2026. Anche in questo caso ritengo che lo studio di questo scenario sia utile per una graduale costruzione della configurazione di partenza per l'attivazione del Passante AV di Milano. Le caratteristiche infrastrutturali, legate ai potenziamenti considerati, sono riportate al paragrafo 3.2. In particolare, sono di rilievo gli interventi di quadruplicamento delle tratte Rho – Parabiago e Milano Rogoredo – Pieve Emanuele, risultate critiche nello scenario base. A tali attivazioni fanno seguito le modifiche al modello d'offerta riportate nel dettaglio al sottoparagrafo 4.4.1.

I risultati ottenuti in termini di utilizzazione delle tratte e dei nodi elementari sono riportati graficamente nella Figura 38 facendo uso di appositi cromatismi.

A seguire, nella Tabella 26 e Tabella 27 si riporteranno le criticità emerse dall'applicazione del metodo analitico allo scenario futuro 2026.



<b>TRATTA</b>	<b>U [%]</b>	<b><math>\Delta U</math> con scenario 2021 [%]</b>
Premosello – Arona	<b>95</b>	-
Gallarate – Busto Arsizio	<b>92</b>	<b>+12</b>
Busto Arsizio – Parabiago	<b>108</b>	<b>+16</b>
Luino – Laveno	<b>118</b>	-
Mornago – Gallarate	<b>93</b>	-
Rho – Milano Certosa (Novara)	<b>98</b>	<b>+23</b>
Quadrivio Turro – Milano Lambrate (Merci)	<b>93</b>	<b>-7</b>
Milano Lancetti – Milano Porta Vittoria	<b>93</b>	<b>+33</b>
Milano Porta Vittoria – Milano Rogoredo	<b>100</b>	<b>+50</b>
Milano Rogoredo – PC Melegnano <i>DD</i>	<b>93</b>	<b>+10</b>
Villasanta – Triuggio	<b>93</b>	<b>+24</b>
Castellucchio – Mantova	<b>97</b>	-

Tabella 26 - Utilizzazione delle tratte critiche nello scenario futuro 2026

<b>NODO</b>	<b>U [%]</b>	<b><math>\Delta U</math> con scenario 2021 [%]</b>
Certosa 3E Cintura	<b>80</b>	<b>+37</b>
Certosa 3E	<b>77</b>	<b>+31</b>
Mirabello	<b>87</b>	<b>+11</b>
Turro Cintura E	<b>95</b>	<b>+16</b>
Lambrate 9N	<b>78</b>	<b>+12</b>
Lambrate 9S	<b>75</b>	<b>+13</b>

Tabella 27 - Utilizzazione dei nodi critici nello scenario futuro 2026



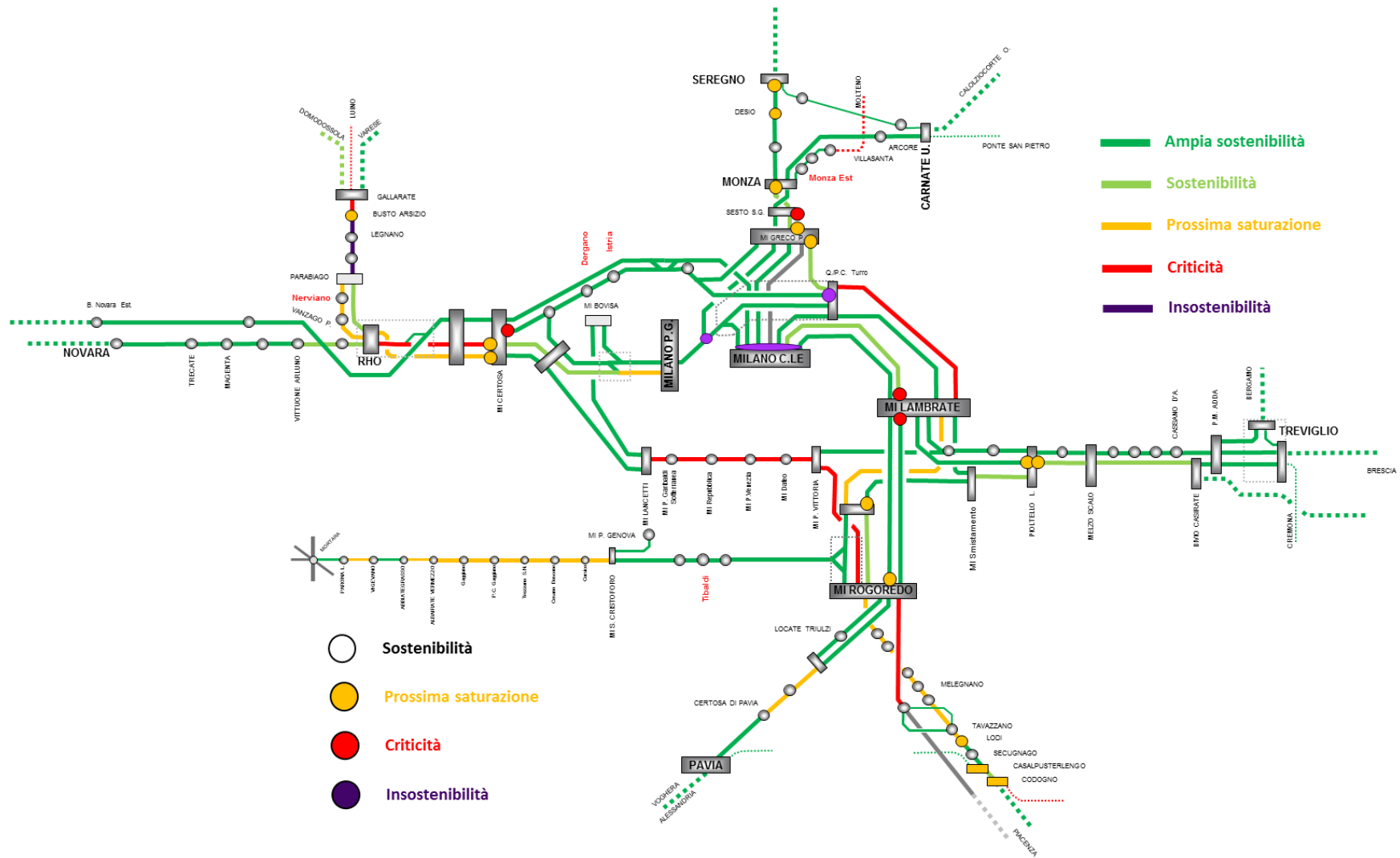


Figura 38 - Rappresentazione grafica dei risultati dell'analisi numerica applicata allo scenario futuro 2026



Dall'analisi dei risultati ottenuti emerge che, rispetto allo scenario base 2021, la tratta Gallarate – Busto Arsizio subisce un incremento di utilizzazione, portandosi oltre la soglia di criticità e parimenti la tratta Busto Arsizio – Parabiago presenta un'utilizzazione maggiore del 100%, a causa dell'aumento di carico sulla linea Rho – Gallarate. Questa condizione, puramente analitica, è indice di una insostenibilità del modello di esercizio applicato.

L'introduzione dei nuovi servizi suburbani S14, S15 ed S16, se pur portando a compimento la richiesta di completamento del modello d'offerta dei servizi Suburbani, porta a saturazione il segmento di linea compreso tra gli impianti di Rho e Milano Certosa sulla linea Novara, la cui utilizzazione risulta pari al 98%.

Il riflesso dell'attivazione di queste nuove relazioni, in particolare dei servizi S14 e S15, porta l'infrastruttura del Passante Ferroviario oltre la soglia di criticità, con un'utilizzazione del 93%, e la tratta Milano Porta Vittoria – Milano Rogoredo a saturazione.

Si realizza inoltre un incremento del carico sulle tratte Milano Rogoredo – Bivio P.C. Melegnano e Villasanta – Triuggio, le quali sono utilizzate entrambe al 93%. Resta sempre critico, anche se con una diminuzione del carico, il segmento quadrivio Turro – Milano Lambrate attraverso la linea merci, sul quale si riduce del 7% il grado di utilizzazione, grazie alla riduzione della specifica di distanziamento a quattro minuti. Il grado di utilizzazione risulta incrementato in tutte le tratte interessate da un potenziamento di offerta, senza comunque mai raggiungere un valore oltre la soglia critica. D'altro canto, i potenziamenti infrastrutturali previsti in questo scenario portano alla riduzione del grado di utilizzazione su alcune tratte. Tra i casi più significativi, si segnala il decongestionamento delle tratte Parabiago – Rho e Milano Rogoredo – Pieve Emanuele, a seguito dei quadruplicamenti, e della tratta Bergamo – Ponte San Pietro, oggetto del raddoppio.

Ulteriori benefici si registrano in tutte le situazioni in cui si sia modificato l'impianto di blocco, con diminuzione della specifica di distanziamento in linea; è il caso delle linee Milano Greco Pirelli – Monza – Chiasso, Milano Rogoredo – Piacenza, Voghera – Tortona, Monza – Carnate e Milano Greco Pirelli – Milano Porta Garibaldi – Milano Lambrate.

Per quanto riguarda l'utilizzazione dei nodi, il potenziamento del modello di offerta determina di alcune criticità nella radice est di Milano Certosa, in particolare nei nodi 3° binario Cintura e 3° binario, le cui utilizzazioni superano la soglia di criticità. Il nodo elementare di Bivio Mirabello, a causa dell'incremento della frequenza del servizio S7, supera la soglia di sostenibilità di utilizzazione, avendo un carico pari all'87%.

---

L'istituzione del suburbano di cintura S16 aumenta l'utilizzazione del nodo Turro Cintura Est fino a superare la soglia di sostenibilità, portando la stessa al 95%. Questa problematica verrà affrontata più avanti nello sviluppo delle attivazioni del Passante AV. L'incremento di una coppia/ora della relazione AV Milano – Roma provoca un aumento di utilizzazione dei nodi Lambrate 9° binario, sia in radice sud che in radice nord. Ad ogni buon conto, l'utilizzazione di questi elementi risulta in via teorica sostenibile, essendo di poco al di sopra della soglia di criticità.

Tutti i nodi ritenuti critici nello scenario 2021 e non sopra citati non subiscono variazioni in termini di utilizzazione percentuale degli stessi.

Infine, si evidenzia che l'attivazione dei nuovi PRG delle località di Milano Lambrate, Milano Porta Garibaldi, Milano Certosa, Monza e Rho permette la riduzione delle interferenze nelle radici di questi impianti, con conseguente diminuzione dell'utilizzazione di alcuni nodi elementari prima presenti. L'intervento in assoluto più efficace è quello effettuato nella stazione di Rho, nella quale si ha la completa eliminazione delle interferenze tra i flussi.

### **8.3 Scenario futuro oltre 2026**

Si è sviluppata un'ulteriore evoluzione delle caratteristiche del modello, necessaria ai fini della realizzazione di uno scenario base sul quale applicare le attivazioni del Passante AV. Questa configurazione rappresenta la situazione infrastrutturale, nonché i potenziamenti dei servizi previsti in un orizzonte temporale posto oltre l'anno 2026. La configurazione infrastrutturale considerata prevede, in aggiunta a quella descritta nello scenario 2026, l'attivazione di nuovi interventi, descritti nel dettaglio al paragrafo 3.3. Anche in questo caso è stato applicato un modello di offerta comprensivo di tutti i potenziamenti ed evoluzioni descritte in precedenza al sottoparagrafo 4.4.2.

Nelle seguenti tabelle sono riportati rispettivamente i segmenti di linea e gli impianti caratterizzati da valori di utilizzazione oltre la soglia di criticità.

<b>TRATTA</b>	<b>U [%]</b>	<b><math>\Delta U</math> con scenario 2026 [%]</b>
Premosello – Arona	<b>95</b>	-
Gallarate – Busto Arsizio	<b>92</b>	-
Busto Arsizio – Parabiago	<b>108</b>	-
Luino – Laveno	<b>118</b>	-
Mornago – Gallarate	<b>93</b>	-
Rho – Milano Certosa (Novara)	<b>98</b>	-
Quadrivio Turro – Milano Lambrate (Merci)	<b>93</b>	-
Milano Lancetti – Milano Porta Vittoria	<b>93</b>	-
Milano Porta Vittoria – Milano Rogoredo	<b>100</b>	-
Milano Rogoredo – PC Melegnano <i>DD</i>	<b>95</b>	<b>+2</b>
Villasanta – Triuggio	<b>93</b>	-
Castellucchio – Mantova	<b>108</b>	<b>+12</b>

Tabella 28 - Utilizzazione delle tratte critiche nello scenario futuro oltre 2026

<b>NODO</b>	<b>U [%]</b>	<b><math>\Delta U</math> con scenario 2026 [%]</b>
Certosa 3E Cintura	<b>80</b>	-
Certosa 3E	<b>77</b>	-
Mirabello	<b>87</b>	-
Turro Cintura E	<b>95</b>	-
Lambrate 9N	<b>78</b>	-
Lambrate 9S	<b>75</b>	-

Tabella 29 - Utilizzazione dei nodi critici nello scenario futuro oltre 2026

Si riporta a seguire la rappresentazione grafica dei risultati ottenuti a seguito dell'applicazione del metodo analitico allo scenario oltre 2026. La visualizzazione dei risultati è effettuata mediante l'uso di cromatismi.





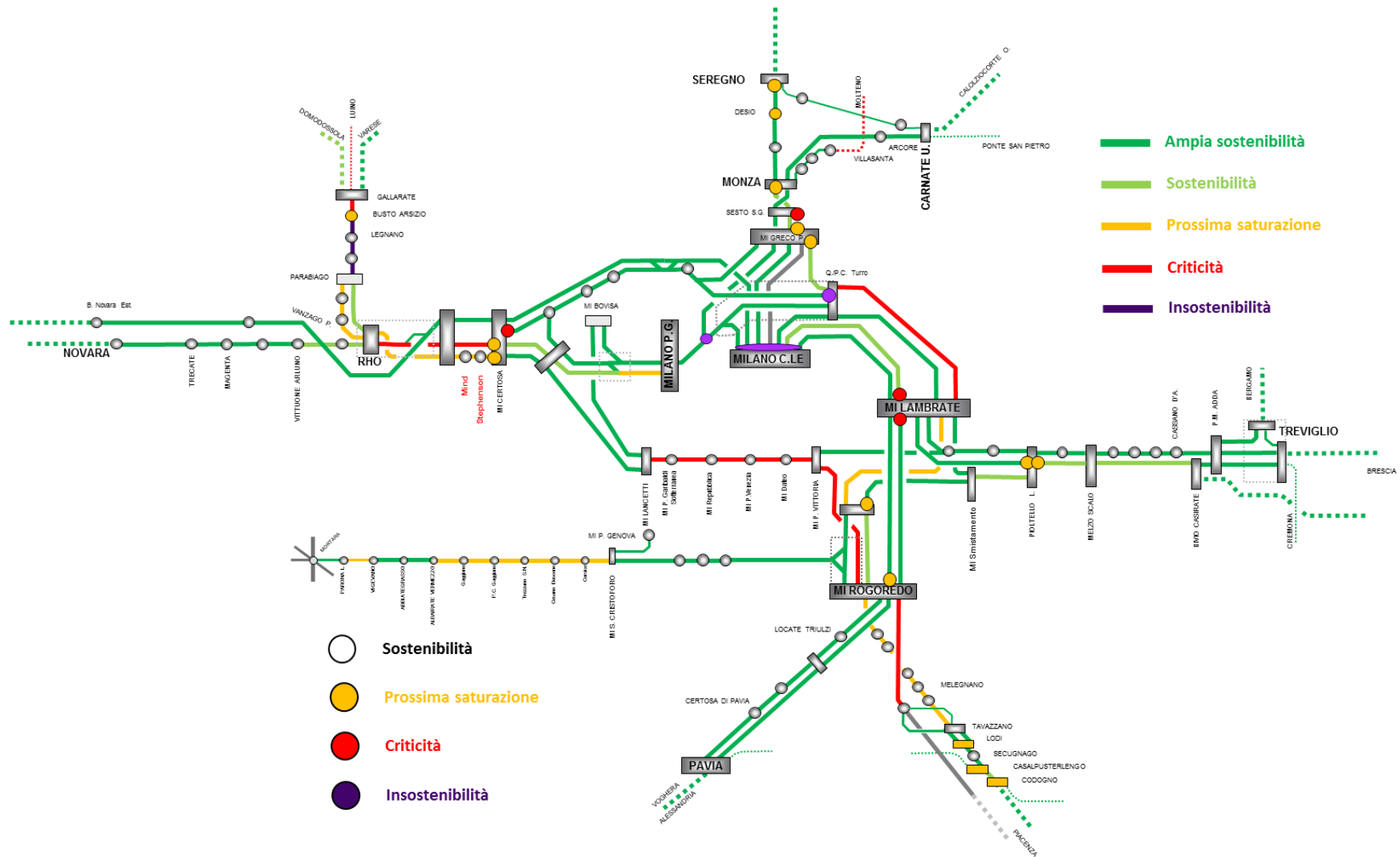


Figura 39 - Rappresentazione grafica dei risultati dell'analisi numerica applicata allo scenario futuro oltre 2026



Il completamento degli interventi di potenziamento infrastrutturale, congiuntamente all'incremento di alcuni servizi, non porta sostanziali modifiche nell'utilizzazione delle tratte del Nodo allargato di Milano. La presenza di segmenti di rete, la cui utilizzazione è oltre la soglia di criticità, risulta essere pressoché invariata rispetto allo scenario futuro 2026, con alcune piccole eccezioni, quali ad esempio la saturazione della tratta Castellucchio – Mantova.

In merito alle tratte che traggono beneficio dai potenziamenti attuati in questa fase, si segnala la tratta Albairate – Vigevano, che, subendo un dimezzamento del grado di utilizzazione, scende sotto il livello di attenzione.

Indubbi benefici si ottengono anche nella tratta Pieve Emanuele – Pavia, la quale è oggetto del quadruplicamento della linea, così come le tratte Tavazzano – Lodi e Voghera - Tortona.

L'utilizzazione dei nodi non subisce variazioni rispetto allo scenario precedente, pertanto le criticità restano le medesime. Il potenziamento di alcuni servizi di Lunga Percorrenza e del tipo Regio Express determina l'incremento delle criticità sull'impianto di Milano Centrale.

Per una visione dettagliata del grado di utilizzazione di tutte le tratte, nonché di tutti i nodi derivati dall'analisi, si rimanda all' Appendice D.

Le criticità di saturazione del Nodo di Milano, emerse dalle analisi numeriche, non consentono un congruo sviluppo del modello di esercizio, così come previsto nel Capitolo 1. Tali necessità portano ad implementare il Passante AV di Milano nelle modalità esposte nel Capitolo 5, così da poter risolvere le problematiche capacitive degli elementi critici e consentire nuove opportunità di incremento dei servizi, altrimenti infattibili.

Nei prossimi capitoli saranno esposti i risultati derivati dall'applicazione del metodo analitico alle successive fasi di attivazione della nuova infrastruttura.



---

## 9

# **Applicazione del metodo analitico: fasi iniziali del Passante AV**

In questo capitolo si esporranno i risultati quantitativi derivati dall'applicazione del metodo analitico alle prime fasi di realizzazione del Passante AV di Milano descritte nel Capitolo 7, allo scopo di verificare i benefici in termini capacitivi sulle tratte del Nodo di Milano, anche a fronte di un'evoluzione del modello d'offerta che preveda un incremento dei servizi esistenti, nonché lo sviluppo di nuove relazioni.

Gli scenari relativi a queste prime attivazioni si riferiscono alle configurazioni di rete specifiche di ogni fase infrastrutturale, alle quali si applica un modello di esercizio modificato rispetto a quello presentato nello scenario futuro oltre 2026. Di seguito un breve riepilogo delle attivazioni relative alle fasi iniziali:

- Fase 1: contempla la realizzazione del collegamento tra Bivio Taverna e la nuova stazione di Milano Centrale AV. In questa fase si modifica l'offerta di tutti i servizi AV che operano sulla dorsale Milano – Roma e sulla direttrice Adriatica, che attestano a Milano Centrale;
- Fase 2: prevede il completamento del collegamento sotterraneo tra le stazioni di Milano Centrale AV e Milano Porta Garibaldi AV. Si modifica il modello di offerta, introducendo una relazione di Lunga Percorrenza più rapida sulla direttrice Milano – Genova, in sostituzione dell'IC Milano – Genova – Ventimiglia;
- Fase 3: tale scenario vede ultimato il collegamento tra la stazione di Milano Porta Garibaldi AV e Bivio Fiorenza, permettendo l'istadamento delle relazioni “passanti” (Roma – Torino) nel Passante AV.

---

Come anticipato, ad ogni scenario di attivazione corrisponde un potenziamento dei servizi, reso possibile per effetto del decongestionamento di qualche segmento di linea. Tali potenziamenti verranno trattati come ulteriori scenari, di poco differenti dagli scenari della fase interessata dai quali hanno origine, e denominati come: scenario Fase 1 POT, scenario Fase 2 POT e scenario Fase 3 POT.

## 9.1 Scenario Fase 1

Il primo scenario infrastrutturale è necessario per aumentare il numero di binari della stazione di Milano Centrale, permettendo un agile interscambio tra i servizi di Lunga Percorrenza ed i servizi Regionali. A tal scopo, si considera realizzato il nuovo segmento di infrastruttura che permette il collegamento tra Bivio Taverna e la nuova stazione di Milano Centrale AV.

Rispetto a questa configurazione, ho scelto di valutare anche una variante che prevede l'immissione nel Passante AV alla chilometrica 7+290 della linea Bologna, provenendo da Milano Centrale, cioè spostata verso sud. Tale soluzione, a differenza della precedente, elimina le interferenze di taglio tra i servizi che operano nel Passante AV e quelli che transitano sulla linea Bologna grazie alla realizzazione di uno scavalco, il cui funzionale è già stato evidenziato nella Figura 19.

L'implementazione numerica di questa soluzione non porta a nessuna variazione in termini capacitivi, eccezion fatta per l'estensione della tratta tra Milano Lambrate e Milano Rogoredo (linea Bologna), che viene liberata.

La differenza sostanziale tra le due configurazioni studiate risiede in aspetti di tipo realizzativo ed infrastrutturale. La soluzione con bivio a raso risulta più semplice e con minori impatti sulla circolazione in fase di realizzazione. La seconda variante invece richiede un maggior impiego di risorse per la sua realizzazione, generando maggiori interferenze con l'esercizio ferroviario della linea Bologna. Infine, questa soluzione comporta la costruzione di un'opera civile aggiuntiva, lo scavalco, nonché di due ulteriori chilometri di tracciato sotterraneo, per un totale di circa 6.910 metri. Di conseguenza, ho scelto di non implementare nelle fasi successive la variante con scavalco, anche in considerazione della complessità di realizzazione dell'opera di scavalco e in relazione agli spazi a disposizione in sito, i cui oneri non possono essere giustificati con il solo beneficio dell'eliminazione dell'interferenza.

### 9.1.1 Parametri del modello Scenario Fase 1

La configurazione infrastrutturale di questo scenario è analoga alla configurazione di rete presente nello scenario futuro oltre 2026, con l'aggiunta delle attivazioni infrastrutturali relative alla Fase 1, descritte nel sottoparagrafo 5.2.1.

L'istradamento dei servizi AV all'interno del Passante AV, la cui specifica di distanziamento è pari a quattro minuti, suggerisce la modifica del blocco anche nella tratta Milano Rogoredo – Milano Lambrate sulla linea Bologna, eventualmente prolungando il potenziamento fino alla stazione di Milano Centrale, in modo da omogeneizzare la specifica di distanziamento ed evitare squilibri nel grado di utilizzazione in tratte adiacenti, a discapito della graficazione d'orario delle tracce. Il modello di esercizio considerato ai fini dell'analisi è il medesimo proposto nello scenario futuro oltre 2026, in cui si attribuiscono alla nuova infrastruttura tutti i servizi di Lunga Percorrenza operanti sulle direttrici Dorsale e Adriatica che attestano a Milano Centrale.

In particolare, ho assegnato al Passante di Milano AV i seguenti servizi, per un totale di cinque coppie nell'ora di punta:

- AV Milano Centrale – Roma/Napoli: tre coppie/ora;
- AV Milano Centrale – Adriatica: una coppia/ora;
- ES Milano Centrale – Adriatica (via Piacenza): una coppia/ora.

Per una migliore visione del modello di offerta dei servizi di lunga percorrenza nello scenario di prima fase, si riporta, a seguire, l'elenco di dettaglio delle relazioni LP.

Nome	Estremi	Freq. punta	Freq. morb
AV	Milano C.le AV - Roma/Napoli	20	20
AV	Bergamo - Brescia - Roma <i>Spot</i>	1 coppia/gg	
AV	Torino P.N. - Milano C.le – Roma/Napoli	15	30
AV	Torino P.N. - Milano P.G. - Roma	60	0
AV	Milano C.le – Venezia	20	20
AV	Milano C.le AV- Adriatica	6 coppie/gg	
ES	Milano C.le AV- Adriatica (via Piacenza)	60	120
EC	Milano C.le - Chiasso	60	120
EC	Milano C.le - Domodossola	60	120
IC	Milano C.le - Genova (- Ventimiglia)	60	60
IC	Milano C.le - Piacenza (Adriatica/Dorsale)	1 coppia/gg	

Tabella 30 - Modello di offerta LP per lo Scenario di Fase 1

---

### 9.1.2 Risultati Scenario Fase 1

I risultati ottenuti a seguito dell'analisi numerica di questo scenario sono graficamente riportati in Figura 40.

Vengono inoltre proposte due tabelle, nelle quali si evidenziano i cambiamenti, in termini percentuali, del grado di utilizzazione dei segmenti di linea e dei nodi.

TRATTA	U [%]	$\Delta U/U$ O.2026 [%]
Milano C.le – Milano Lambrate (Bologna)	43	-43
Milano C.le – Milano Lambrate (Genova)	43	-16
Milano Lambrate – Bivio Taverna	33	-56
Milano Lambrate - Milano Rogoredo (Genova)	43	-19
Bivio Taverna – Milano Rogoredo (Bologna)	67	-11

Tabella 31 - Grado di utilizzazione delle tratte che subiscono variazioni rispetto allo scenario futuro oltre 2026

Il grado di utilizzazione del nuovo segmento di linea, compreso tra Bivio Taverna e Milano Centrale AV, in questa fase è pari al 33%.

NODO	U [%]	$\Delta U/U$ O.2026 [%]
Lambrate 9N	41	-48
Lambrate 9S	38	-50

Tabella 32 - Grado di utilizzazione dei nodi che subiscono variazioni rispetto allo scenario futuro oltre 2026

Il grado di utilizzazione di Bivio Taverna, derivato analiticamente in questo scenario, risulta pari al 33%, al di sotto della soglia di criticità.



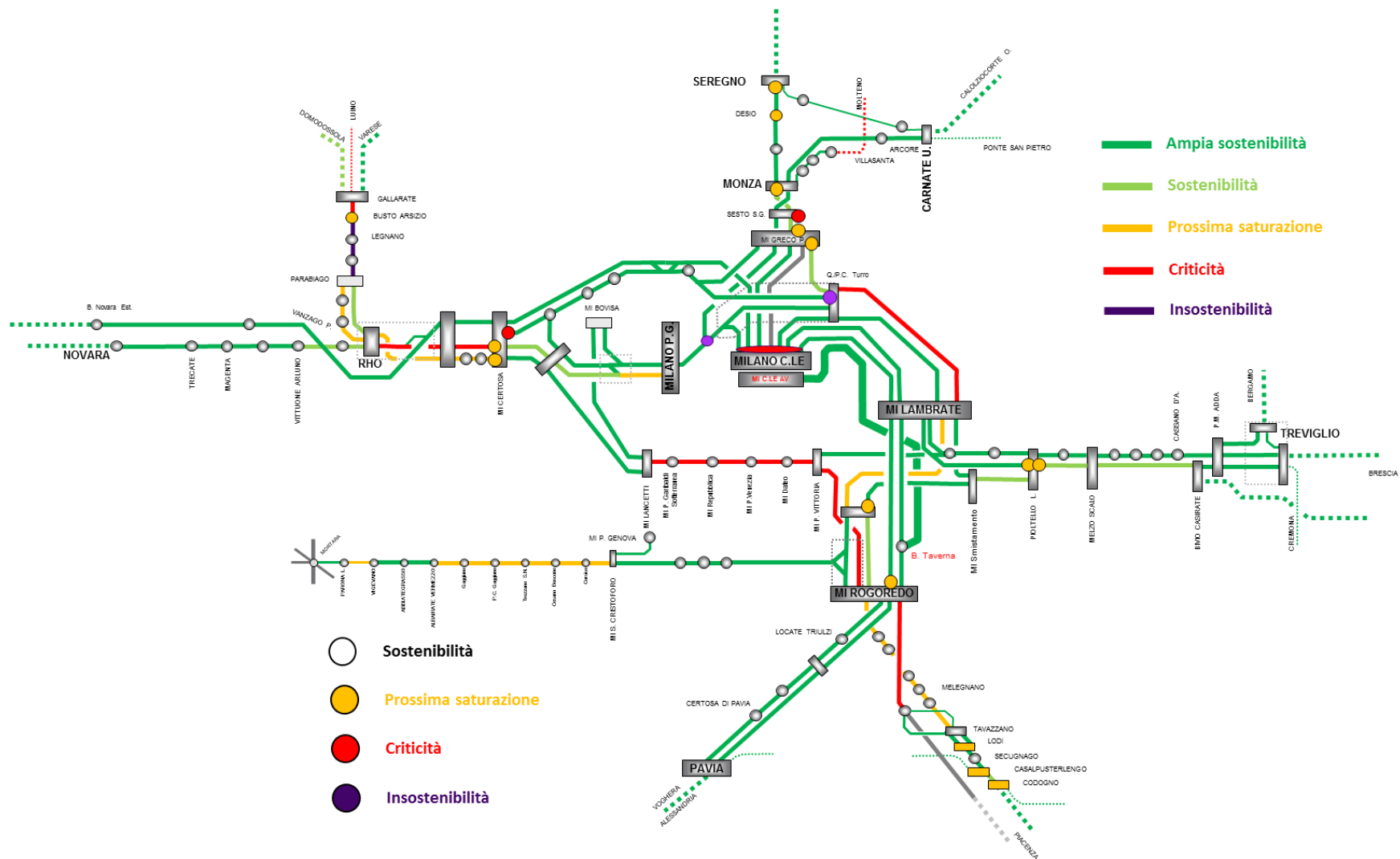


Figura 40 - Rappresentazione grafica dei risultati dell'analisi numerica applicata allo Scenario Fase 1



In generale, dai risultati ottenuti si evince che le attivazioni infrastrutturali di Fase 1 comportano una riduzione del carico sulle linee di accesso alla direttrice Milano – Bologna all'interno del nodo. Nello specifico, si ottiene una riduzione del carico sulla linea Genova, a causa del diverso istradamento del servizio ES Milano – Adriatica (via Piacenza), che viene spostato sulla linea Bologna, nonché una riduzione del grado di utilizzazione della linea Bologna in tutte le sue tratte. Il decremento dell'utilizzazione nelle tratte a valle di Bivio Taverna, provenendo da Milano Centrale, è naturalmente dovuto alla riduzione di quattro coppie/ora su tale linea; invece, la riduzione dell'utilizzazione delle tratte a monte della stessa, è da attribuirsi alla modifica del blocco, che consente un aumento della capacità dell'infrastruttura.

Le criticità emerse nello scenario futuro oltre 2026 relative ai nodi vengono sanate nell'impianto di Milano Lambrate, mentre persistono tutte le altre. Allo stesso modo, l'eccessiva utilizzazione delle altre tratte, dettagliata in Tabella 28, in questa fase non subisce variazioni.

La stazione di Milano Centrale, nello Scenario futuro oltre 2026, è interessata da 28 attestamenti nell'ora di punta. A seguito dell'attivazione della prima fase del Passante AV, tale nodo viene scaricato di cinque coppie nell'ora di punta, portando il numero di attestamenti di Milano Centrale a 23, sempre riferiti al modulo orario. Tale diminuzione, innanzi tutto a beneficio della regolarità della circolazione di tutto il Nodo di Milano, consente d'altra parte un potenziamento dell'offerta. Ho valutato che un incremento di tre attestamenti/ora sia un buon compromesso per aumentare i volumi di traffico dell'offerta passeggeri senza però provocare sovrasaturazioni della stazione di Milano Centrale.

Di seguito saranno espone nel dettaglio le modifiche connesse al primo potenziamento dei servizi, studiato nello “Scenario Fase 1 - 1° Potenziamento”.

## **9.2 Scenario Fase 1 – 1° Potenziamento**

La scelta di quali servizi potenziare è stata effettuata in relazione alla situazione di carico sulla rete e sugli impianti, al fine di evitare condizioni di sovrasaturazione di segmenti di rete al di fuori del Nodo di Milano.

Analizzando il grafico riportato in Figura 40, risulta evidente come sia possibile un potenziamento della direttrice Milano - Venezia, la cui offerta di trasporto è inferiore a quella delle altre direttrici.

Scelgo, pertanto, di incrementare i seguenti servizi:

- RE 2 Milano Centrale – Bergamo: raddoppio della frequenza a 30 minuti;

- 
- RE 6 Milano Centrale – Verona: raddoppio della frequenza a 30 minuti;
  - AV Milano Centrale – Venezia: aggiunta di una coppia/ora a mercato.

Al fine di caricare eccessivamente le tratte della direttrice Milano – Venezia DD, risulta opportuno modificare l'impianto di blocco, prevedendo delle sezioni di blocco normalmente ridotte, della lunghezza di 900 metri. Questa modifica permette di portare la specifica di distanziamento a 4 minuti, aumentando la capacità della linea.

I risultati ottenuti sono graficamente riportati in Figura 41.





## 9.2.1 Risultati Scenario Fase 1 POT

Il metodo analitico è stato applicato anche allo scenario Fase 1 in configurazione potenziata; di seguito sono riportate tutte le tratte, nonché tutti i nodi, che subiscono variazioni in termini di utilizzazione rispetto allo Scenario Fase 1.

TRATTA	U [%]	$\Delta U/U$ Fase 1 [%]
Quadrivio Turro - Milano Lambrate (Venezia)	45	+29
Milano Centrale - Quadrivio Turro (Venezia)	57	+55
Milano Centrale - Milano Lambrate (Bologna)	53	+23
Milano Lambrate - Pioltello (Venezia <i>DD</i> )	73	+16
Pioltello - Melzo Scalo ( <i>DD</i> )	87	+6
Melzo Scalo - Bivio Casirate ( <i>DD</i> )	78	+9
Bivio Casirate - Bivio Roncadelle (AV)	33	+33
Bivio Casirate - PM Adda ( <i>DD</i> )	68	+41
PM Adda - Treviglio ( <i>DD</i> )	43	+37
Treviglio - Verdello	42	+25
PM Adda - Treviglio (Linea Bergamo)	25	+50
Verdello - Bergamo	42	+25
Treviglio - Romano	58	+25
Romano - Rovato	75	+32
Rovato - Ospitaletto T.	75	+13
Ospitaletto T. - Bivio Roncadelle	72	+16
Bivio Roncadelle - Bivio Mella ( <i>LL</i> )	67	+14
Bivio Mella - Brescia Scalo	58	+17
Bivio Mella - Brescia	60	+24

Tabella 33 - Tratte che subiscono modifiche al grado di utilizzazione rispetto allo Scenario Fase 1

L'implementazione dei servizi RE sulla direttrice Milano – Venezia, nonché il potenziamento dell'offerta del servizio AV sulla stessa tratta, non comporta saturazioni delle tratte elementari di rete. Questo risultato è ottenibile solamente modificando la lunghezza delle sezioni di blocco della tratta Milano Lambrate – Bivio Casirate *DD*, il cui segmento più carico è Pioltello – Melzo Scalo *DD*, con un grado di saturazione pari a 87%. Tale tratta, in assenza della modifica al blocco, risulterebbe l'elemento critico di tutta la direttrice, con un grado di utilizzazione oltre la soglia di sostenibilità.

<b>NODO</b>	<b>U [%]</b>	<b><math>\Delta U/U</math> Fase 1 [%]</b>
Turro VE	65	+26
Lambrate 8N	57	+36
Lambrate 8S	55	+32
Lambrate 9N	44	+8
Pioltello 4O	77	+24
Pioltello 3E	89	+20
PM Adda 2O	53	+14
PM Adda 2E	52	+19
PM Adda 5O	70	+27
Treviglio 6O	32	+12
Treviglio Ovest 1S	27	+45
Rovato 2O	43	+13
Bivio Mella LL	59	+16
Brescia 2O	23	+17
Bivio Mella D AV	55	+18
Bivio Mella P AV	55	+18

Tabella 34 - Nodi che subiscono modifiche al grado di utilizzazione rispetto allo Scenario Fase 1

I risultati numerici derivati dall'applicazione del metodo analitico ai nodi elementari evidenziano l'insorgere di due criticità nell'impianto di Pioltello. In questa fase non si prevedono interventi di modifica del PRG della stazione in questione, ma si rimanda la risoluzione della criticità ad una fase successiva.

Si registra un incremento dell'utilizzazione di tutti i nodi su cui insistono i servizi oggetto del primo potenziamento, che non comporta, però, criticità.

## 9.3 Scenario Fase 2

L'implementazione di questo scenario è necessaria al fine di garantire un adeguato interscambio tra i servizi di Lunga Percorrenza ed i servizi Suburbani grazie alla messa in esercizio delle attivazioni infrastrutturali di Fase 2. Nello specifico, come già esplicitato nel sottoparagrafo 5.2.2, questa fase prevede la realizzazione del collegamento sotterraneo tra le stazioni di Milano Centrale AV e Milano Porta Garibaldi AV, quest'ultima oggetto della presente fase.



### 9.3.1 Parametri del modello Scenario Fase 2

La configurazione infrastrutturale studiata in questo scenario è la medesima dello Scenario futuro oltre 2026; su di essa sono considerate le attivazioni infrastrutturali delle prime due fasi, descritte ai sottoparagrafi 5.2.1 5.2.2.

Il numero di binari utilizzati per l’attestamento nella stazione di Milano Centrale AV si riduce a due, mentre gli altri quattro binari sono di corsa o di precedenza.

Il modello di esercizio di tutti i servizi considerati ai fini dell’analisi è il medesimo proposto nello scenario futuro oltre 2026; ho assegnato alla nuova infrastruttura tutti i servizi di Lunga Percorrenza operanti sulle direttrici Dorsale e Adriatica che attestano a Milano Centrale. In buona sostanza, in questo scenario il modello di esercizio non subisce variazioni, salvo la modifica degli attestamenti all’interno del Passante AV. Nello specifico, le relazioni AV Milano – Roma, nonché la relazione AV Milano – Adriatica, sono impostate con origine/destinazione nella stazione di Milano Porta Garibaldi AV; il servizio Milano - Adriatica (via Piacenza) rimane invece attestato nella stazione di Milano Centrale AV.

Confermo l’assegnazione al Passante di Milano AV dei seguenti servizi, per un totale di cinque coppie nell’ora di punta:

- AV Milano Porta Garibaldi AV – Roma/Napoli: tre coppie/ora;
- AV Milano Porta Garibaldi AV – Adriatica: una coppia/ora;
- ES Milano Centrale – Adriatica (via Piacenza): una coppia/ora.

Per una migliore visione del modello di offerta dei servizi di Lunga Percorrenza nello scenario si riporta, a seguire, l’elenco di dettaglio delle relazioni LP.

Nome	Estremi	Freq. punta	Freq. morb
AV	Milano P.G. AV - Roma/Napoli	20	20
AV	Bergamo - Brescia - Roma <i>Spot</i>	1 coppia/gg	
AV	Torino P.N. - Milano C.le – Roma/Napoli	15	30
AV	Torino P.N. - Milano P.G. - Roma	60	0
AV	Milano C.le - Venezia	15	15
AV	Milano P.G. AV- Adriatica	6 coppie/gg	
ES	Milano C.le AV- Adriatica (via Piacenza)	60	120
EC	Milano C.le - Chiasso	60	120
EC	Milano C.le - Domodossola	60	120
IC	Milano C.le - Genova (- Ventimiglia)	60	60
IC	Milano C.le - Piacenza (Adriatica/Dorsale)	1 coppia/gg	

Tabella 35 - Modello di esercizio LP per lo Scenario Fase 2

---

### **9.3.2 Risultati Scenario Fase 2**

Dall'analisi dei risultati numerici relativi a questo scenario, non si registrano differenze rispetto ai risultati ottenuti per lo Scenario Fase 1 POT, in quanto l'unica modifica è il nuovo tratto di Passante AV compreso tra Milano Centrale AV e Milano Porta Garibaldi AV, il cui grado di utilizzazione è pari al 27%. Tale valore risulta particolarmente basso a causa del limitato numero di treni che interessano il tratto, solamente quattro coppie nell'ora di punta.

Si riportano i risultati ottenuti in forma grafica in Figura 42.

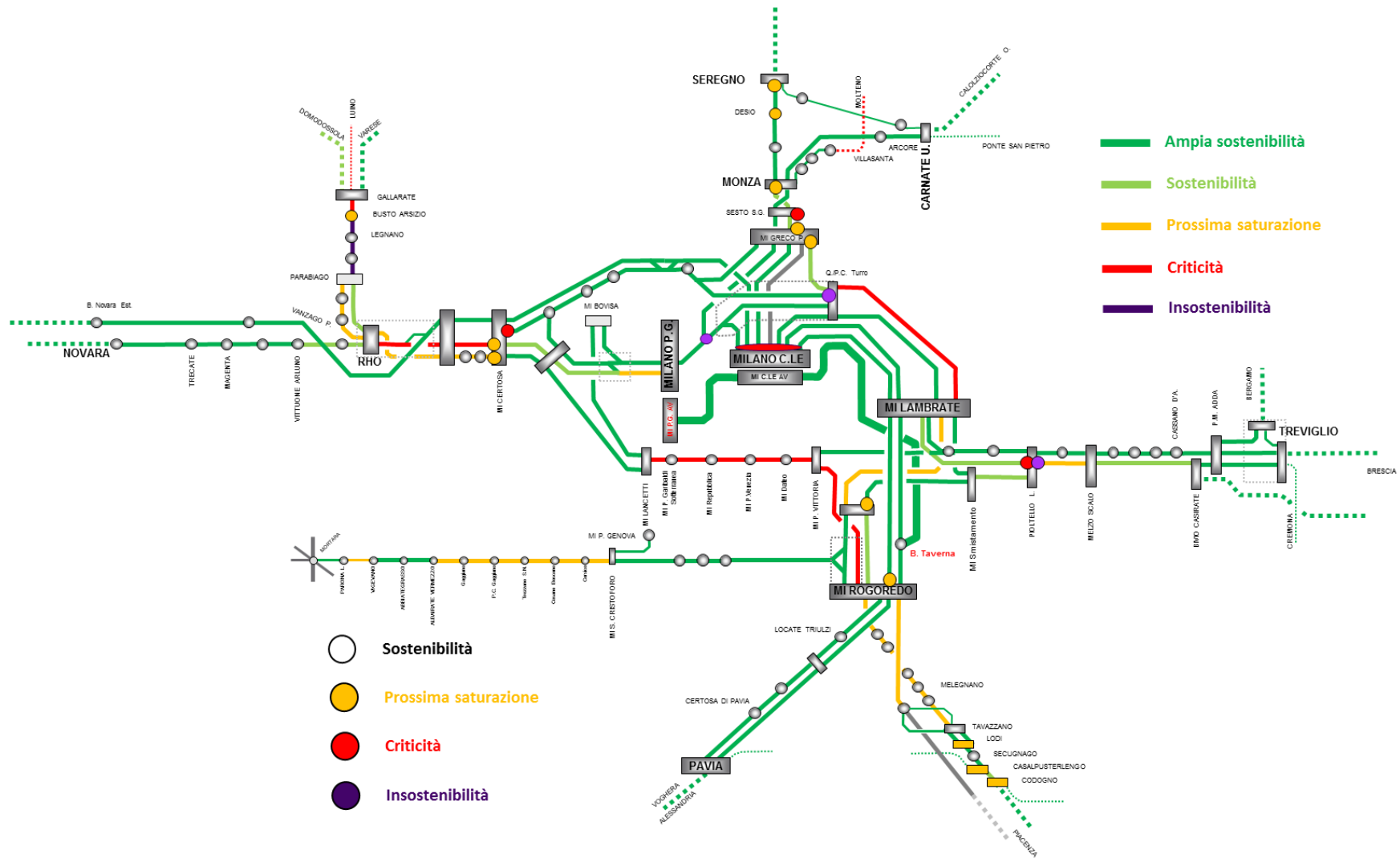


Figura 42 - Rappresentazione grafica dei risultati dell'analisi numerica applicata allo Scenario Fase 2



Nella stazione di Milano Centrale non varia il numero di attestamenti nell'ora di punta, sempre uguale a 26. Nell'ottica di provvedere con un potenziamento dei servizi, ho ritenuto di variare la tipologia d'offerta sulla direttrice Milano – Genova, il cui grado di utilizzo risulta lontano dalla saturazione. Nel successivo paragrafo sarà esposto nel dettaglio il secondo potenziamento dei servizi prospettato.

## 9.4 Scenario Fase 2 – 2° Potenziamento

In considerazione della similitudine d'offerta tra il servizio RE13 Milano Centrale – Alessandria/Genova ed il servizio IC Milano – Genova/Ventimiglia, nella tratta Milano – Tortona ho scelto di raddoppiare la frequenza del servizio RE 13 Milano – Alessandria/Genova a 30 minuti, con conseguente sostituzione del servizio IC Milano – Genova/Ventimiglia con un servizio ES Milano – Genova/Ventimiglia. Questa soluzione permette di non ridurre l'offerta di trasporto in tutte le fermate, bensì di aggiungere un collegamento rapido sulla direttrice Milano – Genova, il quale attesta nel Passante AV. In tale configurazione, il numero degli attestamenti nella stazione di Milano Centrale non varia, mentre il Passante AV, nella tratta più carica, è interessato da sei coppie nell'ora di punta.

I risultati ottenuti a seguito del potenziamento non presentano modifiche nella rappresentazione grafica dei risultati, pertanto si rimanda alla Figura 42.

### 9.4.1 Risultati Scenario Fase 2 POT

La visualizzazione di tutte le tratte e di tutti i nodi che subiscono lievi modifiche, in termini di utilizzazione, è possibile attraverso le seguenti tabelle.

TRATTA	U [%]	$\Delta U/U$ Fase 2 [%]
Milano Lambrate - Milano Rogoredo (Genova)	42	-4
Pavia - Bressana	57	+21
Bressana - Voghera	45	+17
Tortona - Alessandria	30	+100
Mi. Rogoredo - Pieve Emanuele (DD)	35	+24
Tortona - Voghera (DD)	30	+29
Pieve Emanuele - Certosa di Pavia (DD)	40	+26
Certosa di Pavia - Pavia (DD)	40	+20
Bivio Taverna- Milano Rogoredo (Bologna)	73	+10
Bivio Taverna- Milano Centrale AV	40	+20

Tabella 36 - Tratte che subiscono modifiche al grado di utilizzazione rispetto allo Scenario Fase 2

<b>NODO</b>	<b>U [%]</b>	<b><math>\Delta U/U</math> Fase 2 [%]</b>
Rogoredo 5S	50	+11
Pavia 2N	52	+11
Pavia 3S	52	+11
Pavia ex Gravellone	72	+13
Bressana 1S	55	+18
Voghera 4O	43	+13
Tortona 2O	45	+13
Pieve E. 3S	65	+15
Bivio Taverna	75	+10

Tabella 37 - Nodi che subiscono modifiche al grado di utilizzazione rispetto allo Scenario Fase 2

L'applicazione del metodo analitico allo Scenario Fase 2 POT non porta in evidenza criticità direttamente generate dalle modifiche implementate in questa fase. Come si può vedere in Tabella 36, i segmenti di linea che subiscono modifiche del grado di saturazione non presentano elementi di criticità o di eccessivo utilizzo della tratta; analogamente per quanto riguarda i nodi, riportati in Tabella 37.

Questa configurazione di potenziamento risulta pertanto applicabile senza creare problematiche alla circolazione in località fuori dal Nodo di Milano. I suoi benefici sono altrettanto tangibili, in quanto sono riuscito a mettere in atto un piano di potenziamento dei servizi regionali sulla direttrice Milano – Genova, nonché a permettere il raggiungimento di un efficace interscambio tra i servizi di lungo e breve raggio.

## 9.5 Scenario Fase 3

Lo sviluppo di tale scenario si rende necessario al fine di rendere “passante” la nuova infrastruttura, permettendo l'incremento d'offerta dei servizi a mercato Torino – Roma, Torino – Venezia.

Questo scenario riproduce la condizione della rete, infrastrutturale e dei servizi, a seguito dell'attivazione dell'ultima fase iniziale, la Fase 3, che comprende il collegamento sotterraneo tra la stazione di Milano Porta Garibaldi AV e Bivio Fiorenza. Ho valutato questo scenario in due varianti tra loro simili, che differiscono per la conformazione di Bivio Fiorenza; la variante A presenta un innesto a raso con la generazione di interferenze di taglio tra itinerari, mentre nella variante B le interferenze sono annullate. Le caratteristiche topologiche sono state esposte al sottoparagrafo 5.2.3.

### 9.5.1 Parametri del modello Scenario Fase 3

Il modello infrastrutturale relativo allo Scenario Fase 3 ha come base la configurazione di rete relativa allo Scenario futuro oltre 2026, cui si aggiungono tutte e tre le attivazioni infrastrutturali del Passante AV, descritte ai sottoparagrafi 5.2.1, 5.2.2 e 5.2.3. In aggiunta, al fine di realizzare il modello di esercizio previsto all'attivazione della terza fase del Passante AV di seguito descritto, si considera realizzato il quadruplicamento delle tratte Gallarate – Busto Arsizio e Parabiago - Legnano, a completamento dell'intervento di potenziamento della linea Rho – Gallarate, permettendo di superare le criticità precedentemente evidenziate. Non risulta invece necessario il quadruplicamento della tratta Busto Arsizio – Legnano, previa modifica del blocco con impiego di una specifica di distanziamento pari a quattro minuti.

Il modello di esercizio di questo scenario risulta più articolato dei precedenti. Rispetto alla configurazione dei servizi dello Scenario Fase 2, propongo le seguenti modifiche riportate in Tabella 38, suddivise per relazioni.

Estremi	Modifica
AV Milano C.le AV – Roma/Napoli	Istradamento nel Passante AV di 9 c/h <sup>37</sup> nell'ora di punta e 7 c/h durante la morbida
AV Torino P.N. – Milano C.le AV	Istradamento nel Passante AV di 6 c/h nell'ora di punta e 5 c/h durante la morbida
AV Torino - Milano P.G. - Roma	Soppressione servizio
AV Milano C.le AV - Malpensa T1	Istituzione con frequenza 30 minuti
AV Milano C.le - Venezia	Istradamento su linea Bologna tra Mi. Lambrate e Mi. Centrale
AV Torino – Milano Passante - Adriatica	Prolungamento fino a Torino P.N.
RE 13 Milano C.le - Bergamo	Istradamento su linea Bologna tra Mi. Lambrate e Mi. Centrale
R spot Milano P.G. – Luino	Soppressione servizio
S11 Legnano – Como S.G.	Prolungamento su Legnano
Merci Trecate - Mi. Lambrate	Istradamento su linea Venezia tra Mi. Lambrate e quadrivio Turro
Merci Domo II - Mi. Lambrate	Istradamento su linea Venezia tra Mi. Lambrate e quadrivio Turro
Merci Busto A. - Mi. Lambrate	Istradamento su linea Venezia tra Mi. Lambrate e quadrivio Turro
S15 Milano Rogoredo – Legnano	Prolungamento fino a Legnano
S16 Abbiategrasso - Legnano	Istradamento su linea Venezia tra Mi. Lambrate e quadrivio Turro
S16 Abbiategrasso - Legnano	Prolungamento fino a Legnano

Tabella 38 - Modifiche al modello di offerta previste nello Scenario Fase 3

<sup>37</sup> Coppie/ora.

Le modifiche così come riportate costituiscono il primo incremento dell'offerta dei servizi a mercato, in quanto:

- si aggiunge una coppia/ora a mercato sulla tratta Milano – Roma;
- si aggiungono due coppie/ora a mercato sulla tratta Milano – Torino;
- si istituisce una nuova relazione Roma – Malpensa T1 a frequenza semi oraria.

Riassumendo, riporto a seguire il modello di offerta per i servizi di Lunga Percorrenza previsti nello Scenario Fase 3.

Nome	Estremi	Freq. punta	Freq. morb
AV	Milano P.G. AV - Roma/Napoli	30	30
ES	Milano C.le AV – Adriatica (via Piacenza)	60	120
ES	Milano C.le AV – Genova/Ventimiglia	60	60
AV	Torino P.N. - Milano Passante – Roma/Napoli	12	15
AV	Bergamo – Brescia – Roma <i>Spot</i>	1 coppia/gg	
AV	Milano C.le – Venezia	15	15
AV	Torino P.N. – Milano Passante – Adriatica	6 coppie/gg	
AV	Roma – Milano Passante – Malpensa T1	30	30
EC	Milano C.le - Chiasso	60	120
EC	Milano C.le - Domodossola	60	120
IC	Milano C.le - Piacenza (Adriatica/Dorsale)	1 coppia/gg	

Tabella 39 - Modello di offerta LP per lo Scenario Fase 3

In definitiva, vengono istradati nel Passante AV tutti servizi alta velocità con origine/destinazione Torino, Roma e Malpensa, l'ES Milano – Adriatica e l'ES Milano – Genova, per totale di 12 coppie/ora. Quasi tutte queste relazioni sono passanti, salvo le due relazioni Milano Centrale AV – Roma/Napoli, e le due relazioni ES Milano – Adriatica e Milano – Genova. Problematiche relative al corretto esercizio della nuova infrastruttura impediscono di poter fare attestare tutte e quattro le coppie nello stesso impianto, quindi ho scelto di attestare le due coppie AV nella stazione di Milano Porta Garibaldi AV e le due coppie ES nella stazione di Milano Centrale AV. Questa implicazione consente di giustificare la realizzazione di due stazioni sotterranee dotate di sei binari, altrimenti sovradimensionate.

## 9.5.2 Risultati Scenario Fase 3

L'applicazione del metodo analitico allo Scenario Fase 3 comporta il decongestionamento della tratta Gallarate – Parabiago e la saturazione della tratta Milano Rogoredo – PC Melegnano. I risultati ottenuti, in termini di utilizzazione, sono riportati in forma grafica in Figura 43 ; vengono, inoltre, evidenziate le tratte ed i nodi che subiscono una variazione del grado di saturazione rispetto allo Scenario Fase 2 POT, rispettivamente in Tabella 40 e Tabella 41.



TRATTA	U [%]	$\Delta U/U$ Fase 2 POT [%]
Gallarate - Busto Arsizio (DD)	63	-31
Busto Arsizio - Legnano	92	-15
Rho - Milano Certosa (Novara)	88	-10
Rho - Bivio Fiorenza	53	+60
Milano Certosa - PM Ghisolfa (Novara)	63	-21
Milano Certosa - Triplo Bivio Seveso (Viaggiatori)	25	-57
Triplo Bivio Seveso - Milano Centrale (Viaggiatori)	28	-56
Quadrivio Turro - Milano Lambrate (Merci)	60	-36
Quadrivio Turro - Milano Lambrate (Venezia)	33	-26
Bivio Mirabello – Quadrivio Turro	10	-40
Milano Centrale - Quadrivio Turro (Venezia)	0	-100
PM Ghisolfa - Milano Porta Garibaldi (Novara)	70	-21
Bivio Mirabello - Milano Porta Garibaldi	50	-12
Milano Centrale - Milano Lambrate (Bologna)	73	+38
Milano Lambrate - Bivio Taverna	0	-100
Milano Rogoredo - Bivio PC Melegnano (DD)	103	+9
T2 - Gallarate dev. Estremo	33	+100
Gallarate dev. Estremo (lato T2) - Gallarate	60	+29
Bivio Taverna - Milano Rogoredo	80	+9
Bivio Taverna - Milano Centrale AV	80	+100
Passante fase 2 Milano C.le - Milano P.G.	67	+150

Tabella 40 - Tratte che subiscono modifiche al grado di utilizzazione rispetto allo Scenario Fase 2 POT

L'aumento di offerta sulla direttrice Milano – Gallarate comporta un aumento del grado di utilizzazione nella tratta Milano Certosa – Rho, che rimane tuttavia ampiamente sostenibile. D'altro canto, l'istadamento della quasi totalità delle relazioni AV all'interno del Passante AV, permette una riduzione del carico sulla linea Viaggiatori tra Milano Certosa e Milano Centrale.

La reimpostazione del modello di esercizio nella tratta Milano Lambrate – Quadrivio Turro porta i maggiori benefici, in termini di utilizzazione, allo scenario in questione. Nello specifico, il diverso istadamento dei servizi merci provenienti o diretti da Novara, Domo II o Gallarate, risulta essere l'unico intervento in grado di decongestionare la linea Merci, consentendo di sfruttare maggiormente la linea Venezia, attrezzata con tecnologia ERTMS – HD.

Il potenziamento dei servizi a mercato sulla direttrice Milano – Bologna provoca la completa saturazione della tratta Milano Rogoredo – Bivio P.C. Melegnano. Questa particolare condizione è alla base dell'implementazione delle attivazioni successive, descritte a seguire nel Capitolo 10.

L'infrastruttura del Passante AV al termine di questa fase è percorsa da dodici coppie nell'ora di punta e, pertanto, utilizzata all'80% nel suo tratto più carico. In particolare, si distinguono i seguenti gradi di utilizzazione, comunque sempre al di sotto della soglia di attenzione:

- tratta Bivio Taverna – Milano Centrale AV (Fase 1): grado di utilizzazione pari a 80%;
- tratta Milano Centrale AV – Milano Porta Garibaldi AV (Fase 2): grado di utilizzazione pari a 67%;
- tratta Milano Porta Garibaldi – Bivio Fiorenza (Fase 3): grado di utilizzazione pari a 53%.

NODO	U [%]	$\Delta U/U$ Fase 2 POT [%]
Certosa 2E	0	-100
Certosa 3ECint.	67	-17
Certosa 3E	63	-17
Certosa 4E	60	-10
Certosa 3°	57	-11
Garibaldi FT	27	-16
Garibaldi 13O-D	30	-10
Garibaldi 14E	33	-9
Mirabello	80	-8
Turro MPX	0	-100
Turro Seveso	0	-100
Turro Cintura O	40	-17
Turro Cintura E	80	-16
Turro VE	0	-100
Lambrate 8N	16	-71
Lambrate 8S	0	-100
Lambrate 9N	51	+15
Lambrate 9S	0	-100
Garibaldi 13O-P	20	-14
Bivio Taverna	0	-100

Tabella 41 - Nodi che subiscono modifiche al grado di utilizzazione rispetto allo Scenario Fase 2 POT

Si registrano ingenti variazioni negli impianti di Gallarate e Busto Arsizio, a causa della modifica del PRG di tali stazioni che, in entrambi gli impianti, porta ad una semplificazione delle radici. I nodi elementari, relativi alle precedenti configurazioni infrastrutturali, riportati in Appendice C, non sono più luogo di interferenza tra i flussi di traffico; al loro posto, però, si generano quattro differenti nodi, riportati di seguito:

- Busto Arsizio 5° binario in radice sud;
- Gallarate 2° binario in radice sud;
- Gallarate 3° binario in radice sud;
- Gallarate 6° binario in radice sud.

Risulta evidente che il potenziamento infrastrutturale abbia semplificato le interferenze tra itinerari precedentemente presenti nel modello di esercizio.



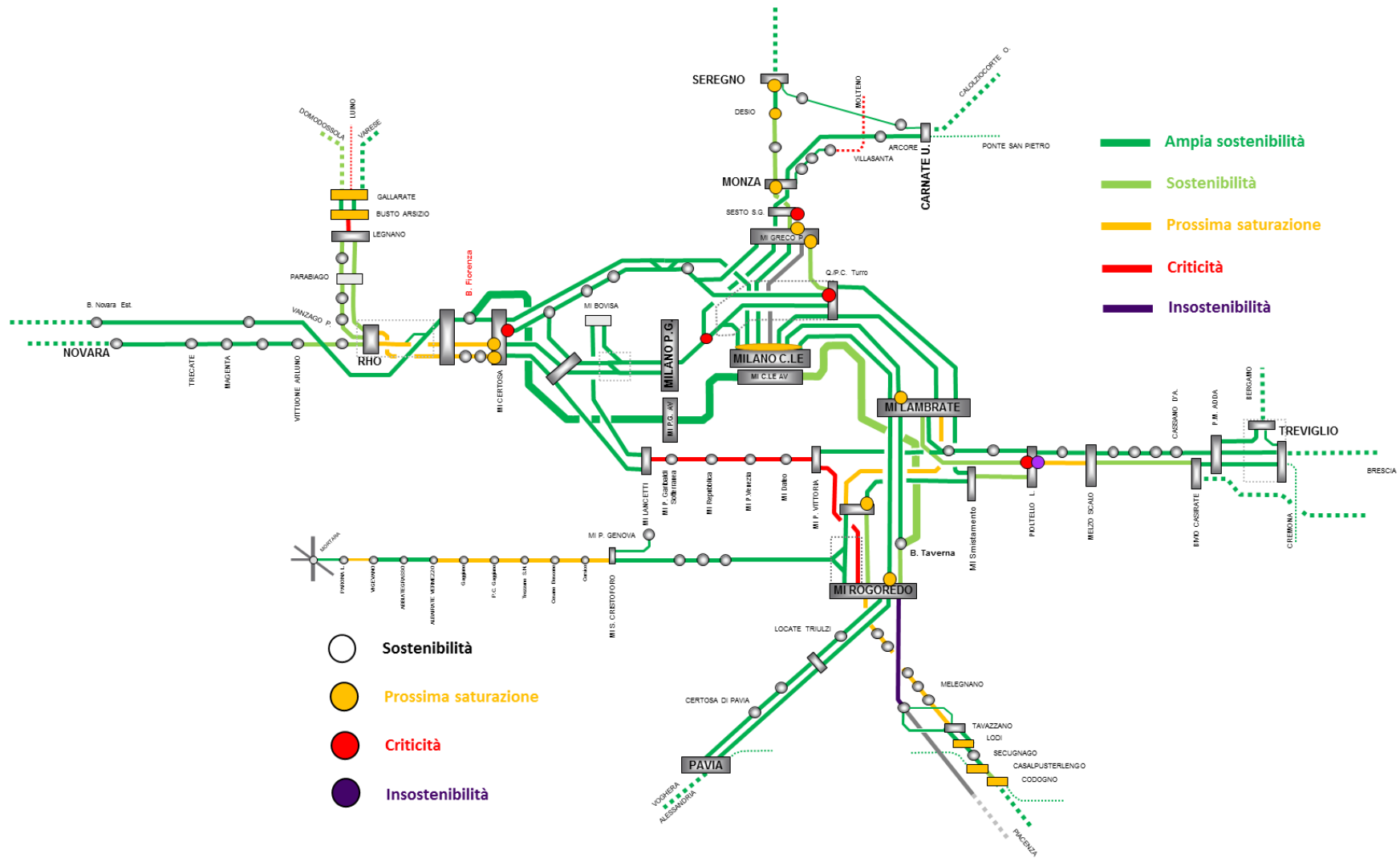


Figura 43 - Rappresentazione grafica dei risultati dell'analisi numerica applicata allo Scenario Fase 3



Per quanto concerne il grado di utilizzazione dei nodi, oltre ai benefici indotti negli impianti di Busto Arsizio e Gallarate, si registrano miglioramenti nell'impianto di Milano Certosa e di Milano Porta Garibaldi.

I benefici maggiori si hanno sui nodi Certosa 3E Cintura, Mirabello e Turro Cintura E. Il nodo di Certosa non risulta più critico, mentre Mirabello e Turro Cintura E rimangono critici, ma la loro utilizzazione risulta nuovamente sostenibile.

L'interferenza di Bivio Taverna non può più determinare perturbazioni alla circolazione a causa del completo istradamento dei treni circolanti sulla linea Bologna all'interno del Passante AV.

Infine, ho ritenuto necessario analizzare la reale differenza tra la variante A e la variante B dello Scenario Fase 3. Le due varianti, come già accennato, differiscono per la diversa modalità di innesto nella nuova infrastruttura, lato ponente. L'utilizzazione di Bivio Fiorenza, nella variante A ammonta al 73%, poco sotto la soglia di criticità, mentre risulta nulla nella variante B. Questa ragione porta alla preferenza della variante B, se pur più complessa ed onerosa della prima, perché non si ritiene consona la realizzazione di una nuova opera che risulti già critica al momento della sua attivazione.

Un grande beneficio si ottiene anche per quanto concerne la stazione di Milano Centrale, su cui, al termine di questa fase, insistono 22 coppie/ora; tale situazione consente l'incremento della frequenza dei servizi regionali che fanno capo a Milano Centrale, in accordo con l'aumento di volumi di traffico di cui al Capitolo 1. Si procede quindi con il potenziamento dell'offerta regionale, generando un ulteriore scenario riferito al terzo potenziamento dell'offerta di trasporto.

## 9.6 Scenario Fase 3 – 3° Potenziamento

Lo scenario in questione fotografa la situazione, infrastrutturale e dei servizi, così come descritta nello Scenario Fase 3, con l'implementazione dei seguenti potenziamenti all'offerta di trasporto.

Poiché la direttrice Milano – Bologna è oltre il limite di saturazione, ho deciso di attuare un potenziamento dell'offerta sulle direttrici Milano – Chiasso e Milano – Domodossola/Varese.

In coerenza con quanto scelto, propongo i seguenti potenziamenti:

- RE4 Milano – Domodossola: raddoppio della frequenza nell'ora di morbida a 60 minuti;

- RE5 Milano – Porto Ceresio: raddoppio della frequenza nell’ora di morbida a 60 minuti e prolungamento fino a Milano Centrale;
- RE10 Milano – Bellinzona: raddoppio della frequenza nell’ora di punta a 30 minuti.

Queste modifiche incrementano a 25 il numero degli attestamenti nella stazione di Milano Centrale nell’ora di punta.

### 9.6.1 Risultati Scenario Fase 3 POT

Riporto, a seguire, i risultati ottenuti applicando l’analisi numerica allo Scenario Fase 3 POT. In Tabella 42 sono esplicitate le tratte che subiscono variazioni in termini di grado di utilizzazione, rispetto alla situazione studiata nello Scenario Fase 3.

TRATTA	U [%]	$\Delta U/U$ Fase 3 [%]
Sesto Calende - Gallarate dev. Estr.	88	+10
Busto Arsizio - Legnano	93	+8
Rho - Milano Certosa (Novara)	78	-15
Rho - Bivio Fiorenza	73	+38
Milano Certosa - PM Ghisolfi (Novara)	50	-21
Milano Certosa - Triplo Bivio Seveso (Viaggiatori)	42	+59
Triplo Bivio Seveso - Milano Centrale (Viaggiatori)	45	+67
PM Ghisolfi - Milano Porta Garibaldi (Novara)	53	-24
Milano Greco Pirelli - Milano Centrale (Chiasso)	33	+33
Chiasso - Como San Giovanni	33	+25
Como S.G. - Albate C.	68	+21
Albate C. - Bivio Rosales	37	+22
Bivio Rosales - Carimate	83	+22
Carimate - Seregno	75	+18
Seregno - Desio	68	+11
Desio - Monza	78	+15
Monza - Sesto S.G. (Chiasso)	87	+13
Sesto S.G. - Milano GP (Chiasso)	78	+9
Gallarate dev. Estremo (lato T2) - Gallarate	66	+11

Tabella 42 - Tratte che subiscono modifiche al grado di utilizzazione rispetto allo Scenario Fase 3

L’implementazione dei servizi RE sulle direttrici Milano – Chiasso e Milano – Domodossola/Varese non comporta saturazioni di tratti di rete al di fuori del Nodo di Milano; inoltre, il diverso istradamento della relazione Milano – Porto Ceresio permette



una decongestione della tratta Milano Certosa – Rho sulla linea Novara, precedentemente in condizioni di criticità.

Le tratte Arona – Gallarate e Gallarate – Rho *DD*, nel tratto quadruplicato, subiscono un incremento di utilizzazione nelle ore di morbida a causa della stabilizzazione oraria dei servizi RE Milano – Domodossola e Milano – Porto Ceresio.

La tratta Milano Certosa – Rho (Novara) presenta un grado di utilizzazione pari a 78%, appena sopra la soglia di attenzione, così come le tratta Milano Certosa – PM Ghisolfi e PM Ghisolfi – Milano Porta Garibaldi, che rientrano comunque in condizioni di ampia sostenibilità.

La diversione su Milano Centrale del servizio RE5 comporta un incremento del grado di utilizzazione della linea Viaggiatori, comunque entro la soglia di accettabilità. Si registra inoltre un lieve incremento del grado di utilizzazione anche sulla direttrice Milano – Chiasso, ampiamente sostenibile.

A seguire si riportano i risultati ottenuti in termini di utilizzazione dei nodi elementari degli impianti.

<b>NODO</b>	<b>U [%]</b>	<b><math>\Delta U/U</math> Fase 3 [%]</b>
Certosa 3ECint.	57	-6
Certosa 3E	53	-6
Certosa 4E	57	-6
Certosa 3O	70	+24
Garibaldi FT	16	-38
Greco 4N	57	+14
Sesto 3S	77	+10
Monza 2S	57	+6
Busto Arsizio 3N	60	+6
Gallarate 2N	67	+5
Sesto Calende 2S	31	+6
Desio 2N	63	+12
Seregno 1S	43	+8
Seregno 2S	60	+9
Bivio Rosales	60	+13
Albate C. 2N	40	+20
Como 1S	28	+13
Como 3S	35	+17

Tabella 43 - Nodi che subiscono modifiche al grado di utilizzazione rispetto allo Scenario Fase 3

---

In analogia agli altri scenari, si riporta inoltre la rappresentazione grafica dei risultati che, mediante l'uso di cromatismi, consentirà l'identificazione del grado di utilizzazione dei segmenti di linea e degli impianti secondo intervalli prestabiliti, (Figura 44).

I risultati in termini di utilizzazione dei nodi evidenziano un aumento dell'utilizzazione degli stessi nelle località dove transitano i servizi oggetti di potenziamento. Le criticità presenti non sono, in questa fase, risolte.





## **Applicazione del metodo analitico: fasi successive del Passante AV**

Il seguente capitolo analizza gli scenari relativi alle attivazioni infrastrutturali di Fase 4 e Fase 5 del Passante AV, che si rendono necessarie a causa delle condizioni di saturazione della tratta Milano Rogoredo – PC Melegnano, in ingresso al Nodo di Milano sulla direttrice Milano – Bologna. Le stesse infatti completano il disegno della nuova infrastruttura, potenziando le principali linee di accesso al Nodo di Milano, in particolare le direttrici Milano – Bologna e Milano – Venezia.

Gli scenari proposti sono riferiti alle seguenti configurazioni di rete:

- scenario Fase 4: comprende il sestuplicamento in entrata al Nodo della direttrice Milano – Bologna; tale tratta si estende dal bivio di ingresso al Passante AV all'interconnessione di Tavazzano, ove si ha l'innesto sulla linea AV/AC Milano – Bologna.
- scenario Fase 5: riguarda il sestuplicamento in ingresso al Nodo di Milano della direttrice Milano – Venezia.

Al fine di rendere più efficaci tali attivazioni, quindi valorizzandone la messa in esercizio, ho effettuato un ultimo potenziamento di offerta, il cui effetto verrà studiato nello scenario Fase 4 POT, topologicamente simile allo scenario Fase 4.

### **10.1 Scenario Fase 4**

Questo scenario rispecchia la situazione, infrastrutturale e dei servizi, relativa all'attivazione della quarta fase infrastrutturale, in cui viene attivato il collegamento tra

---

l'interconnessione di Tavazzano, innesto sulla linea AV/AC Milano – Bologna e l'ingresso al Passante AV, in corrispondenza di Bivio Ortica. Tale bivio è parte delle attivazioni di Fase 4, insieme alla stazione AV a servizio dell'aeroporto di Milano Linate.

### 10.1.1 Parametri del modello Scenario Fase 4

La configurazione infrastrutturale alla base di questo scenario è quella relativa allo scenario Fase 3, di cui al sottoparagrafo 9.5.1, cui si aggiungono le attivazioni infrastrutturali di Fase 4.

Il modello di esercizio considerato per lo sviluppo dello scenario è il medesimo costruito per lo scenario Fase 3 POT, al quale vengono applicate alcune modifiche. I servizi provenienti o diretti sulla Direttrice Dorsale o su quella Adriatica, operanti sulle linee AV, sono istradati nel Passante AV a partire dall'interconnessione di Tavazzano. Fa eccezione la relazione Milano – Adriatica via Piacenza che, pur utilizzando l'infrastruttura AV, viene fatta proseguire sulla tratta Milano Rogoredo – PC Melegnano *DD*, così da poter prestare servizio nella stazione di Milano Rogoredo, per poi essere istradata nel Passante AV mediante Bivio Taverna. Le modifiche alle relazioni sopra esposte sono riportate in Tabella 44; a seguire, si propone una visualizzazione d'insieme del modello di offerta per i servizi di LP in Tabella 45, che comunque non risulta variato rispetto a quello proposto per lo scenario Fase 3.

<b>Estremi</b>	<b>Modifica</b>
AV Milano C.le AV – Roma/Napoli	Istradamento nella Fase 4 a Tavazzano, assegnazione Milano Linate AV
AV Milano C.le AV - Adriatica	Istradamento nella Fase 4 a Tavazzano, assegnazione Milano Linate AV

Tabella 44 - Modifiche al modello di offerta previste nello Scenario Fase 4

<b>Estremi</b>	<b>Freq. punta</b>	<b>Freq. morb</b>
Milano P.G. AV - Roma/Napoli	30	30
Milano C.le AV – Adriatica (via Piacenza)	60	120
Milano C.le AV – Genova/Ventimiglia	60	60
Torino P.N. - Milano Passante – Roma/Napoli	12	15
Bergamo – Brescia – Roma <i>Spot</i>	1 coppia/gg	
Milano C.le – Venezia	15	15
Torino P.N. – Milano Passante – Adriatica	6 coppie/gg	
Roma – Milano Passante – Malpensa T1	30	30
Milano C.le - Chiasso	60	120
Milano C.le - Domodossola	60	120
Milano C.le - Piacenza (Adriatica/Dorsale)	1 coppia/gg	

Tabella 45 - Modello di offerta LP per lo Scenario Fase 4

### 10.1.2 Risultati Scenario Fase 4

Nonostante la complessità delle opere oggetto della Fase 4, i benefici che si ottengono implementando il potenziamento in ingresso della direttrice Milano – Bologna sono limitati ad un numero ristretto di elementi. In particolare, si riportano nelle seguenti tabelle l'elenco dei tratti di linea che subiscono variazioni del grado di utilizzazione a seguito del computo di questo scenario. Naturalmente traggono grande beneficio le tratte Milano Rogoredo – Bivio Melegnano e Milano Rogoredo – Bivio Taverna, il cui decongestionamento lascia spazio a ragionamenti sui possibili potenziamenti d'offerta dei servizi regionali.

<b>TRATTA</b>	<b>U [%]</b>	<b><math>\Delta U/U</math> Fase 3 POT [%]</b>
Milano Rogoredo - Bivio PC Melegnano (DD)	<b>27</b>	<b>-74</b>
Bivio Taverna - Milano Rogoredo	<b>13</b>	<b>-83</b>
Bivio Taverna - Bivio Ortica	<b>13</b>	<b>-83</b>

Tabella 46 - Tratte che subiscono modifiche al grado di utilizzazione rispetto allo Scenario Fase 3 POT

L'utilizzazione dei nodi elementari non varia in relazione a quanto detto nel paragrafo 9.6.1, al quale si rimanda.

Per una migliore visualizzazione dei risultati, riporto in Figura 45 quanto ottenuto a seguito dell'analisi numerica.









L'utilizzazione delle tratte del Passante AV è la seguente:

- tratta Bivio Taverna – Bivio Ortica (Fase 1): grado di utilizzazione pari a 13%;
- tratta Bivio Ortica – Milano Centrale AV (Fase 1): grado di utilizzazione pari a 80%;
- tratta Milano Centrale AV – Milano Porta Garibaldi AV (Fase 2): grado di utilizzazione pari a 67%;
- tratta Milano Porta Garibaldi – Bivio Firenze (Fase 3): grado di utilizzazione pari a 53%;
- tratta Bivio Ortica – Milano Linate AV (Fase 4): grado di utilizzazione pari a 67%;
- tratta Milano Linate AV – Tavazzano (Fase 4): grado di utilizzazione pari a 67%.

Risulta evidente che tutta l'infrastruttura del Passante AV presenti valori inerenti al grado di utilizzazione sempre al di sotto della soglia di attenzione.

## **10.2 Scenario Fase 4 – 4° Potenziamiento**

Poiché, come si è detto, l'applicazione del metodo analitico ha dimostrato che l'attivazione della Fase 4 determina il decongestionamento delle tratte Milano Rogoredo – PC Melegnano e Milano Rogoredo - Bivio Taverna (Bologna), propongo il quarto ed ultimo potenziamento dell'offerta regionale che attesta nella stazione di Milano Centrale. L'impianto di Milano Centrale risulta interessato, nell'ora di punta, da 25 attestamenti, che verranno portati a 27 a seguito del potenziamento.

In particolare, ho deciso di potenziare l'offerta della direttrice Milano – Bologna, proponendo i seguenti incrementi dei servizi:

- RE11 Milano – Mantova: raddoppio della frequenza a 30 minuti nell'ora di punta;
- RV Milano – Parma: raddoppio della frequenza a 60 minuti nell'ora di punta.

### **10.2.1 Risultati Scenario Fase 4 POT**

L'applicazione del metodo analitico allo scenario Fase 4 POT evidenzia un aumento del grado di utilizzazione nelle tratte su cui insistono i servizi potenziati. Nello specifico, riporto nelle seguenti tabelle i segmenti di linea, nonché i nodi elementari, che subiscono variazioni del grado di utilizzazione rispetto ai risultati ottenuti per lo scenario Fase 4.

TRATTA	U [%]	$\Delta U/U$ Fase 4 [%]
Milano Centrale - Milano Lambrate (Genova)	60	+38
Milano Lambrate - Milano Rogoredo (Genova)	58	+40
Milano Rogoredo - Bivio PC Melegnano (DD)	35	+31
Bivio PC Melegnano - Tavazzano	25	+50
Casalpusterlengo - Codogno	87	+30
Cava Tigozzi - Cremona	57	+42
Cremona - Villetta M.	43	+37
Villetta M. - Piadena	78	+38
Piadena - Bozzolo	87	+37
Bozzolo - Marcaria	60	+38
Marcaria - Castellucchio	93	+33
Castellucchio - Mantova	133	+43
Tavazzano - Lodi (DD)	53	+45

Tabella 47 - Tratte che subiscono modifiche al grado di utilizzazione rispetto allo Scenario Fase 4

NODO	U [%]	$\Delta U/U$ Fase 4 [%]
Lodi 3N	57	+3
Casalpusterlengo 1N	58	+21
Codogno 3N	57	+8
Codogno 2S	43	+28

Tabella 48 - Nodi che subiscono modifiche al grado di utilizzazione rispetto allo Scenario Fase 4





Come già anticipato, l'analisi numerica applicata a questo scenario non porta miglioramenti capacitivi sui tratti di linea e sugli impianti. Tuttavia, i potenziamenti proposti non provocano eccessive saturazioni dei segmenti di linea, ad eccezione della tratta Marcaria – Mantova.

Nello specifico, tra Marcaria e Castellucchio si raggiunge la saturazione, mentre sulla tratta Castellucchio – Mantova il grado di utilizzazione, già elevato in precedenza, supera la soglia di sostenibilità. La limitata estensione della tratta rende tale situazione tollerabile, eventualmente prevenendo interventi di potenziamento puntuali per decongestionare il segmento.

In merito alla saturazione degli impianti, non sono risolte le criticità esistenti; i potenziamenti proposti non portano alla saturazione di alcun impianto, ad eccezione di Milano Centrale, il cui numero di attestamenti sale, come si è detto, a 27 nell'ora di punta. Si specifica, comunque, che tale condizione si ottiene a seguito del completamento di tutti i possibili potenziamenti dei servizi RV/RE che attestano nella stazione di Milano Centrale che, con riferimento allo scenario trapiantato oltre l'anno 2026, riduce il numero di attestamenti nell'ora di punta da 28 a 27.

A conclusione dei potenziamenti, credo che la completa saturazione dell'impianto di Milano Centrale, nella quale il numero degli attestamenti nell'ora di punta non è ridotto significativamente, sia, in definitiva, un buon compromesso in relazione al notevole aumento di offerta dei servizi RV/RE che è stato generato nel corso delle fasi.

## **10.3 Scenario Fase 5**

Lo scenario relativo alla Fase 5 è quello che vede completato il progetto del Passante AV, comprensivo del sestuplicamento in ingresso al Nodo della direttrice Milano – Venezia.

### **10.3.1 Parametri del modello Scenario Fase 5**

Il modello infrastrutturale di questo scenario è coerente con la configurazione di rete relativa allo scenario Fase 4, con l'aggiunta delle attivazioni infrastrutturali di Fase 5. In buona sostanza, il modello infrastrutturale di questo scenario considera attivo il collegamento tra la nuova stazione di Milano Linate Aeroporto AV e l'interconnessione di Treviglio, posto movimento che consente l'immissione diretta sulla linea AV Milano – Brescia.

Il modello di esercizio di questo scenario tiene conto di tutti i servizi considerati negli scenari precedenti. Le modifiche che propongo riguardano i servizi di Lunga Percorrenza; in particolare, l'istadamento dei servizi AV Milano – Venezia nel Passante

di Milano AV, usufruendo della Fase 5 della nuova infrastruttura. La sovrasaturazione del Passante AV rende necessario il diverso istradamento dei servizi ES Milano – Adriatica (via Piacenza) e Milano – Genova/Ventimiglia che, non usufruendo più di Bivio Taverna, attesteranno nella stazione di Milano Centrale.

In definitiva, vengono istradate quattro nuove coppie di relazioni AV nel Passante, come riportato nel dettaglio in Tabella 49.

Ho scelto inoltre di prolungare due relazioni all’ora, provenienti da Venezia, su Torino, in modo da aumentare l’offerta di trasporto sulla direttrice Milano – Torino che, in conclusione, viene interessata da sette coppie nell’ora di punta a mercato. Le rimanenti due coppie, Milano Passante – Venezia, sono fatte attestare nella stazione di Milano Centrale AV, al posto delle due coppie di ES precedentemente istradate in superficie. La conclusione delle attivazioni del Passante AV permette la completa diversione dei servizi AV all’interno del Passante di Milano AV, con conseguente decongestionamento della stazione di Milano Centrale, che riduce il numero degli attestamenti nell’ora di punta da 27 a 25.

<b>Estremi</b>	<b>Freq. punta</b>	<b>Freq. morb</b>
Milano P.G. AV - Roma/Napoli	30	30
Milano C.le AV – Adriatica (via Piacenza)	60	120
Milano C.le AV – Genova/Ventimiglia	60	60
Torino P.N. - Milano Passante – Roma/Napoli	12	15
Bergamo – Brescia – Roma <i>Spot</i>	1 coppia/gg	
Milano C.le AV – Venezia	30	30
Torino P.N. – Venezia	30	30
Torino P.N. – Milano Passante – Adriatica	6 coppie/gg	
Roma – Milano Passante – Malpensa T1	30	30
Milano C.le - Chiasso	60	120
Milano C.le - Domodossola	60	120
Milano C.le - Piacenza (Adriatica/Dorsale)	1 coppia/gg	

Tabella 49 - Modello di offerta LP per lo Scenario Fase 5

### 10.3.2 Risultati Scenario Fase 5

L’applicazione del metodo analitico allo scenario Fase 5 evidenzia il decremento del grado di utilizzazione di tutte le tratte della direttrice Milano – Venezia fino a Bivio Casirate.

Le tratte che subiscono variazioni in termini capacitivi, rispetto allo scenario Fase 4 POT, sono evidenziate in Tabella 50.



TRATTA	U [%]	$\Delta U/U$ Fase 4 POT [%]
Rho - Bivio Fiorenza	80	+9
Milano Centrale - Milano Lambrate (Bologna)	53	-27
Milano Lambrate - Pioltello (Venezia DD)	40	-45
Pioltello - Melzo Scalo (DD)	60	-31
Melzo Scalo - Bivio Casirate (DD)	52	-34
Bivio Taverna - Bivio Ortica	0	-100
Bivio Ortica - Milano Centrale AV	93	+17
Passante Fase 2 Milano C.le AV - Milano P.G. AV	73	+10
Passante Fase 3 Milano P.G. AV - Bivio Fiorenza	60	+13
Passante Fase 4 Linate - Bivio Ortica	93	+40

Tabella 50 - Tratte che subiscono modifiche al grado di utilizzazione rispetto allo Scenario Fase 4 POT

Analogamente, propongo l'elenco dei nodi elementari che subiscono variazioni di utilizzazione a seguito nell'analisi numerica, Tabella 51.

NODO	U [%]	$\Delta U/U$ Fase 4 POT [%]
Lambrate 9N	37	-28
Pioltello 4O	43	-43
Pioltello 3E	56	-37

Tabella 51 - Nodi che subiscono modifiche al grado di utilizzazione rispetto allo Scenario Fase 4 POT

I risultati ottenuti evidenziano che le tratte che beneficiano di questa attivazione sono quelle di Milano Centrale – Milano Lambrate (Bologna) e di Milano Lambrate - Bivio Casirate DD; si sottolinea, comunque, come nello scenario Fase 4 POT tali tratte non presentino problematiche capacitive di insostenibilità, pertanto tale intervento non appare giustificato completamente in relazione all'ingente impiego di risorse. L'effettiva condizione di insostenibilità che viene sanata, riguarda, invece, l'impianto di Pioltello, nel quale erano presenti interferenze di taglio molto dannose ai fini della regolarità della circolazione; con la Fase 5 queste interferenze si riducono, grazie allo scarico del flusso di traffico transitante sui nodi di Pioltello 4° binario nella radice ovest e Pioltello 3° binario nella radice est.

In definitiva, ritengo comunque che la quinta attivazione infrastrutturale risulti particolarmente onerosa in relazione ai benefici che si ottengono dalla sua realizzazione.

L'utilizzazione finale delle tratte del Passante AV è la seguente:

- tratta Bivio Taverna – Bivio Ortica (Fase 1): grado di utilizzazione pari a 0%;

- 
- tratta Bivio Ortica – Milano Centrale AV (Fase 1): grado di utilizzazione pari a 93%;
  - tratta Milano Centrale AV – Milano Porta Garibaldi AV (Fase 2): grado di utilizzazione pari a 73%;
  - tratta Milano Porta Garibaldi – Bivio Fiorenza (Fase 3): grado di utilizzazione pari a 60%;
  - tratta Bivio Ortica – Milano Linate AV (Fase 4): grado di utilizzazione pari a 93%;
  - tratta Milano Linate AV – Tavazzano (Fase 4): grado di utilizzazione pari a 67%;
  - tratta Milano Linate AV – Treviglio (Fase 5): grado di utilizzazione pari a 27%.

A conclusione dell'ultima attivazione infrastrutturale, ho scelto di portare a saturazione il Passante AV che risulta completamente sfruttato ed interessato da 14 coppie/ora, per un grado di saturazione della tratta più caricata pari a 93% cioè in corrispondenza dalla soglia di inizio criticità. È preferibile non assegnare al Passante AV la quindicesima coppia di treni, al fine di non creare una completa saturazione dell'infrastruttura, e mantenere quindi un certo margine, a beneficio della regolarità.

A seguire, si riporta in Figura 47 la rappresentazione schematica dei risultati ottenuti dall'analisi numerica dello Scenario Fase 5.

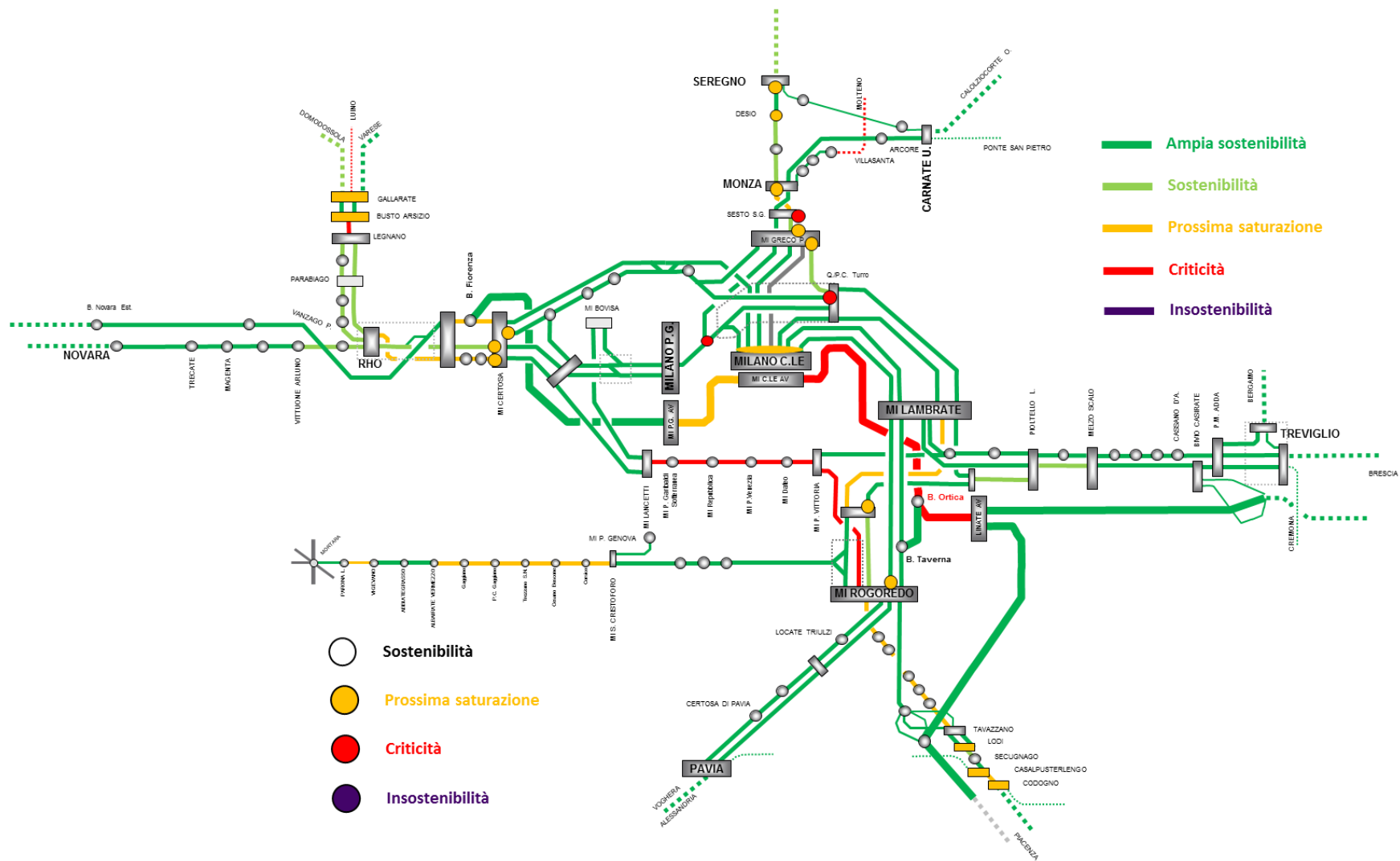


Figura 47 - Rappresentazione grafica dei risultati dell'analisi numerica applicata allo Scenario Fase 5



## **Conclusioni**

A conclusione del presente elaborato, si riportano di seguito le valutazioni di sintesi in merito ai risultati ottenuti a seguito dell'analisi capacitiva descritta nei Capitoli 8, 9 e 10.

La metodologia utilizzata, facente parte della categoria dei modelli analitici e perfezionata a partire dal metodo di compattazione delle tracce, si è rivelata robusta e adeguata al caso studiato, in relazione alle caratteristiche del problema assegnato. La costruzione di tale procedura ha consentito la determinazione del grado di utilizzazione degli elementi della rete (tratte e nodi) non solo negli scenari evolutivi, traggurdati all'orizzonte temporale 2026 ed oltre, ma anche negli scenari, appositamente costruiti, relativi alle successive attivazioni infrastrutturali del Passante AV di Milano. Si è dimostrato che la realizzazione del Passante AV di Milano consente il raggiungimento degli obiettivi prefissati all'inizio del presente elaborato. In particolare, l'attivazione della nuova infrastruttura ha permesso l'incremento dell'offerta di trasporto di tutte le categorie di servizio, consentendo il completamento del modello d'offerta dei servizi Suburbani, l'incremento di frequenza dei servizi di medio raggio, nonché l'istituzione di nuove relazioni del traffico di Lunga Percorrenza. È stata congiuntamente rispettata l'esigenza di incremento di integrazione tra le differenti categorie di servizio, grazie all'istituzione di due grandi nodi di interscambio quali Milano Centrale e Milano Porta Garibaldi. In merito al necessario miglioramento della stabilità degli impianti, si sono ottenuti benefici in termini di decongestione dei principali nodi; tra i risultati più importanti, nella stazione di Milano Centrale si riduce il numero degli attestamenti da 28 a 25 nell'ora di punta.

In relazione alle criticità riscontrate nella configurazione attuale del sistema ferroviario di Milano, la realizzazione del Passante AV permette di diminuire il numero delle tratte

---

critiche della rete; in particolare, con riferimento allo scenario oltre 2026 il numero delle tratte critiche su tutte le linee della Regione Lombardia scende da 12 a 8, così come il numero delle interferenze critiche si riduce da 6 a 3. Tali risultati sono comunque da valutare tenendo in considerazione il forte incremento di offerta che l'attivazione del Passante AV permette.

Con riferimento ai rilasci infrastrutturali, è utile sottolineare che al termine della prima attivazione, ovvero della realizzazione del collegamento tra Bivio Taverna e della stazione di Milano Centrale AV, è possibile potenziare i servizi sulla direttrice Milano – Venezia, con l'ottenimento di una riduzione del numero degli attestamenti nell'impianto di Milano Centrale nell'ora di punta, che scendono a 26. L'utilizzazione della prima tratta della nuova infrastruttura, in questa fase, non è particolarmente intensa.

La messa in esercizio della seconda attivazione infrastrutturale, ovvero del collegamento tra le stazioni di Milano Centrale AV e di Milano Porta Garibaldi AV, permette il completo interscambio tra i servizi di Lunga Percorrenza ed i servizi Suburbani. L'impossibilità, in questa fase, di potenziare l'offerta Regionale sulla Diretrice Milano – Bologna, porta all'incremento della frequenza del servizio RE sulla Diretrice Milano – Genova. Il numero degli attestamenti nella stazione di Milano Centrale non varia, ma viene assegnata un'ulteriore coppia di treni al Passante AV, nell'ora di punta, per un totale di sei.

L'attivazione della Fase 3, ovvero del collegamento tra Milano Porta Garibaldi AV e Bivio Firenze, permette il completamento del tratto urbano del Passante AV di Milano. Questa fase implica il maggior numero di cambiamenti del modello di esercizio rendendo realmente “passanti” le relazioni AV, quest'ultime oggetto di potenziamento. Lo scarico della linea Bologna, nella tratta Milano Lambrate – Milano Centrale, consente una riorganizzazione dei flussi di traffico, nonché la decongestione, sulla linea Merci. Inoltre, pur potenziando i servizi RE sulle direttrici Milano – Domodossola, Milano – Varese e Milano – Chiasso, il numero degli attestamenti di Milano Centrale si riduce a 25 nell'ora di punta.

La Fase 4, ovvero il sestuplicamento in ingresso al Nodo della direttrice Milano – Bologna, consente la decongestione della direttrice Milano – Bologna, con conseguente potenziamento dell'offerta Regionale sulla stessa, nonché l'attivazione di una nuova stazione AV a servizio dell'aeroporto di Milano Linate. In questo scenario il numero degli attestamenti nella stazione di Milano Centrale sale a 27, tornando simile al valore derivato nello scenario futuro oltre 2026.

Infine, la realizzazione del sestuplicamento in ingresso al Nodo della direttrice Milano – Venezia riduce a 25 il numero degli attestamenti, nell'ora di punta, nella stazione di Milano Centrale, ma senza produrre aumenti della frequenza dei servizi RE, ormai quasi tutti potenziati.

L'analisi dei successivi scenari suggerisce una buona propensione dell'opera ad essere suddivisa in fasi; tuttavia esse devono necessariamente essere attivate nell'ordine proposto, in modo da non vanificare i benefici indotti dalla loro realizzazione e da permetterne l'immediato utilizzo.

Con riferimento ai risultati ottenuti negli scenari di attivazione, è possibile affermare che i benefici ad essi connessi non siano particolarmente soddisfacenti, almeno fino al compimento delle prime tre attivazioni. Durante le prime quattro fasi, la progressione delle attivazioni consente il graduale potenziamento dell'offerta Regionale, nonché, con la Fase 3, un ingente potenziamento dell'offerta dei servizi a mercato. La configurazione delle nuove stazioni AV risulta correttamente dimensionata per quanto riguarda le prime due fasi, mentre appare sovradimensionata e molto onerosa per la stazione di Milano Linate Aeroporto AV, a causa della difficile giustificazione della Fase 5. Infatti, la fase finale agisce su elementi di infrastruttura il cui grado di utilizzazione è ben al di sotto della soglia di sostenibilità, pertanto i benefici che si ottengono sono limitati.

In merito a quanto valutato per l'ultimo rilascio infrastrutturale e dato che in tale fase sono già stati implementati tutti i potenziamenti relativi all'offerta Regionale, la Fase 5 risulta verosimilmente evitabile.

In conclusione, suggerisco che i possibili sviluppi futuri inerenti all'implementazione del progetto del Passante AV di Milano siano rivolti alle valutazioni di fattibilità infrastrutturale ed economica dell'opera, in relazione ai benefici ottenuti dalla sua realizzazione ed esposti nel presente elaborato di Tesi.





---

## Riferimenti Bibliografici

- [1] Mussone L. & Calvo R. W. (2013). An analytical approach to calculate the capacity of a railway system. *European Journal of Operational Research* 228, 11-23.
- [2] Antognoli M., Corazza G. R. & Guida P. (2001). Analisi di un impianto di stazione mediante. *Ingegneria Ferroviaria* 7, 413-437.
- [3] Boysen H. E. (2012). General model of railway transportation capacity. *WIT Transactions on The Built Environment, Vol 127*, 1743-3509.
- [4] Branishtov S. A., Vershinin Y. A., Tumchenok D. A. & Shirvanyan A. M. (2014.). Graph methods for estimation of railway capacity. 8-11.
- [5] Burdett R. L. (2016). Optimisation models for expanding a railway's theoretical capacity. *European Journal of Operational Research* 251, 783-797.
- [6] Canciani G. (1999). Modelli di teoria delle code per la valutazione di impianti a deflusso controllato. *Ingegneria Ferroviaria* 6, 399-404.
- [7] Cappelli A., Ricci S. & Staffini P. (1996). Un modello di simulazione dei nodi ferroviari complessi. *Ingegneria Ferroviaria* 3.
- [8] Cassino G., Facchin E. & Iacono O. (2001). Il riassetto del nodo ferroviario di Milano. Le opere in corso e nuovi progetti. *Ingegneria Ferroviaria* 4, 155-169.
- [9] Cesari F., Rizzo V. & Lucchetti L. (2017). *Elementi generali dell'esercizio ferroviario - II Edizione*. CIFI.
- [10] Ciuffini F. (2007). Capacità di una stazione elementare di testa. *Ingegneria Ferroviaria* 10, 805-821.
- [11] Corazza G.R. & Florio L. (1979). Il problema del nodo e la verifica degli impianti di stazione. *Ingegneria Ferroviaria* 4, 271-283.
- [12] Crotti A., Deflorio F., Elia S. & Ioncoli R. (2005). Analisi della potenzialità residua di un impianto di. *Ingegneria Ferroviaria* 7-8, 625-639.
- [13] De Vita M. G., Giovine V. & Ricci S. (2002). Analisi delle prestazioni di una stazione: Tarvisio Boscoverde. *Ingegneria Ferroviaria* 8, 619-627.

- 
- [14] Dicembre A. & Ricci S. (2011). Railway traffic on high density urban corridors: Capacity, signalling and timetable. *Journal of Rail Transport Planning & Management* 1, 59–68.
- [15] Florio L. & Malavasi G. (1984). Principi teorici per la verifica di un impianto ferroviario complesso e la determinazione dei margini di potenzialità. *Ingegneria Ferroviaria* 12, 846-852.
- [16] Genovesi P. & Ronzino C. D. (2005). Incremento delle capacità di una linea a semplice binario. *La Tecnica Professionale* 6, 40-43.
- [17] Genovesi P. & Ronzino C. D. (2006). Flussi e capacità delle linee ferroviarie a doppio binario. *Ingegneria Ferroviaria* 7-8, 571-584.
- [18] International Union of Railways. (2013). *UIC Leaflet 406, 2nd edition*.
- [19] International Union of Railways. (s.d.). *UIC Code 405 OR*.
- [20] International Union of Railways. (s.d.). *UIC Code 406 R*.
- [21] Khadem Sameni M., Landex A. & Preston, J. (2011). *Developing the UIC 406 Method for Capacity Analysis*. Proceedings for 4th International Seminar on Railway Operations Research.
- [22] Kontaxi E. & Ricci S. (2010). Techniques and Methodologies for railway capacity analysis: Comparative studies and integration perspectives. 5th International Scientific Conference "Theoretical and Practical Issues in Transport".
- [23] Kontaxi E. & Ricci S. (2011). Railway Models for capacity calculation. 2nd International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems.
- [24] Kontaxi E. & Ricci S. (2012). Railway Capacity Handbook: A Systematic Approach to Methodologies. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 48, 2689 – 2696.
- [25] Kontaxi E. & Ricci S. (s.d.). *Calculation of railway network capacity: comparing methodologies for lines and nodes*.
- [26] Kozan E. & Burdett R. (2005). A railway capacity determination model and rail access charging methodologies. *Transportation Planning and Technology* 28, 27-45.
- [27] Landex A. (2009). Evaluation of Railway Networks with Single Track Operation Using the UIC 406 Capacity Method. *Netw Spat Econ* 9, 7–23.
- [28] Lindner T. (2011). Applicability of the analytical UIC Code 406 compression method for evaluating line and station capacity. *Journal of Rail Transport Planning & Management* 1, 49-57.
- [29] Maja R. (A.A. 2010-2011). *Modellizzazione e simulazione dei sistemi di trasporto: dispense del corso di "Tecnica ed economia dei trasporti"*. Politecnico di Milano.

- 
- [30] Maja R. (A.A. 2018-2019). *Circolazione Ferroviaria: dispense del corso di "Progetto di ferrovie ed esercizio ferroviario"*. Politecnico di Milano.
- [31] Malavasi G., Molková T., Ricci S. & Rotoli F. (2014). A synthetic approach to the evaluation of the carrying capacity of complex railway nodes. *Journal of Rail Transport Planning & Management* 4, 28-42.
- [32] McNutt M. (2019). Journals unite for reproducibility. *Science* 346 (6210), 679.
- [33] Meyer L. (1970). *Impianti Ferroviari - Tecnica ed Esercizio*. Roma: CIFI.
- [34] Ministero delle infrastrutture e dei Trasporti & Rete Ferroviaria Italiana S.p.A. (s.d.). *Contratto di Programma 2017-2021*.
- [35] Oetting A. & Chu F. (2013). Modeling capacity consumption considering disruption program characteristics and the transition phase to steady operations during disruptions. *Journal of Rail Transport Planning & Management* 3, 54-67.
- [36] Opentrack.  
[http://www.opentrack.ch/opentrack/opentrack\\_e/opentrack\\_e.html#Simulation](http://www.opentrack.ch/opentrack/opentrack_e/opentrack_e.html#Simulation)
- [37] Peresso A. & Lorusso R. (A.A. 2000-2001). *Dimensionamento degli impianti ferroviari, Il metodo sintetico di Potthoff*. Politecnico di Milano.
- [38] Petriccione P. (2004). Problematiche sulla velocizzazione e sul potenziamento di una linea ferroviaria. *Ingegneria Ferroviaria* 4, 357-362.
- [39] Potthoff G. (1965). *Verkehrsströmungslehre*. Berlin: Transpress.
- [40] Pouryousef H. & Lautala P. (2015). Hybrid simulation approach for improving railway capacity and train schedules. *Journal of Rail Transport Planning & Management* 5, 211-224.
- [41] Railcap. (s.d.). Tratto da <http://www.stratec.be/>
- [42] Regione Lombardia & Rete Ferroviaria Italiana S.p.A. (2016). *Accordo Quadro per i servizi di trasporto pubblico locale tra Rete Ferroviaria Italiana S.p.A. e Regione Lombardia*.
- [43] Regione Lombardia. (Edizione settembre 2016). *Programma Regionale Mobilità e Trasporti*.
- [44] Regione Lombardia. (s.d.). *Servizio Ferroviario Regionale*. Tratto da <https://www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/DettaglioServizio/servizi-e-informazioni/Cittadini/Muoversi-in-Lombardia/Treni/a-chi-rivolgersi-per-informazioni-e-reclami/informazioni-servizio-ferroviario-regionale>
- [45] Rete Ferroviaria Italiana S.p.A. & Trenitalia S.p.A. (2019). *Accordo Quadro per l'infrastruttura AV/AC*.
- [46] Rete Ferroviaria Italiana S.p.A. (Edizione 1962). *Regolamento per la Circolazione dei Treni*.
-

- 
- [47] Rete Ferroviaria Italiana S.p.A. (Edizione luglio 2018). *Piano Commerciale*.
- [48] Rete Ferroviaria Italiana S.p.A. (Edizione maggio 2019). *Prospetto Informativo Rete*.
- [49] Rete Ferroviaria Italiana S.p.A. (Ristampa 2007). *Prefazione Generale all'Orario di Servizio*.
- [50] Rete Ferroviaria Italiana S.p.A. (Ristampa 2011). *Regolamento sui Segnali*.
- [51] Ricci S. (s.d.). *Trasporti Ferroviari: Dispense del corso di Laurea Magistrale in Ingegneria dei Trasporti Railway Engineering*. Sapienza Università di Roma.
- [52] Ricci S., Accattatis F., Antognoli M., Baldassarra A., Bruner M., Cappelli A., Cosciotti E., D'Ovidio G., Libardo A., Malavasi G. & Tieri A. (2013). *Ingegneria dei sistemi ferroviari*. Egaf.
- [53] Rotoli F. & Ricci S. (2014). Methodological Review for Capacity and Punctuality Assessment Procedures. *International Journal of Railway Research Vol.1*, 31-47.
- [54] Rotoli F., Navajas Cawood E. & Soria A. (2016). *Capacity assessment of railway infrastructure: Tools, methodologies and policy relevance in the EU context*. JRC Technical Reports, European Commission, EUR 27835 EN.
- [55] Sameni M.K. & Preston J. M. (2012). Value for Railway Capacity. *Transportation Research Record 2289: Journal of the Transportation Research Board*, 134-144.
- [56] Trotta F. (A.A. 2016-2017). *Tesi di Laurea: Stazione di Milano Centrale analisi comparata dei benefici capacitivi connessi a scenari di potenziamento infrastrutturale*. Milano: Politecnico di Milano.
- [57] Vaghi E. (2013). Le specifiche di distanziamento: il legame tra tecnologia e orario. *Ingegneria Ferroviaria* 9, 777-798.
- [58] Vaghi E. (2016). Efficacia dei sistemi di trasporto pubblico, orario e capacità delle infrastrutture. Corso di "Progetto di ferrovie ed esercizio ferroviario", Politecnico di Milano.
- [59] Vaghi E. (2016). Metodi di Pianificazione Sistemica. Corso di "Progetto di ferrovie ed esercizio ferroviario", Politecnico di Milano.
- [60] Vaghi E., Trotta F. & Caprarella A. (2018). *Studio trasportistico di sostenibilità del servizio alle nuove fermate; in relazione al traffico ferroviario esistente e previsto ed alla consistenza infrastrutturale attuale, prevista e opportunamente potenziata*. Milano.
- [61] Virato. (s.d.). Tratto da <https://www.sma-partner.com/de/loesungen/viriato-und-zlr/uebersicht>
- [62] Zanzarin F. (A.A. 2017-2018). *Tesi di Laurea: Malpensa Airport North Railway Link: impact of expected traffic onto the existing network*. Roma: Sapienza Università di Roma.

---

# Appendice A

## Elenco delle sigle

È riportato l'elenco di dettaglio delle sigle usate nella trattazione, a volte, specificato anche nel testo.

*AC*: Alta Capacità;  
*ACC*: Apparato Centrale Computerizzato;  
*ACC-M*: Apparato Centrale Computerizzato Multistazione;  
*AQ*: Accordo Quadro;  
*ATM*: Azienda Trasporti Milanesi;  
*AV*: Alta Velocità;  
*BA*: Blocco Automatico;  
*BAB*: Blocco Automatico Banalizzato;  
*BCA*: Blocco Conta-Assi;  
*BEM*: Blocco Elettrico Manuale;  
*CdP*: Contratto di Programma;  
*CdP-I*: Contratto di Programma – Parte Investimenti;  
*CdP-S*: Contratto di Programma – Parte Servizi;  
*EC*: Eurocity;  
*ERTMS*: European Rail Traffic Management System;  
*ES*: Eurostar;  
*ES*: Eurostar City;  
*ETCS*: European Train Control System;  
*ETCS HD*: European Train Control System High Density;  
*FFS*: Ferrovie Federali Svizzere;  
*FMN*: Ferrovie Nord Milano;  
*FSI*: Ferrovie dello Stato Italiane;  
*GI*: Gestore Infrastruttura;  
*IC*: Intercity;

---

*IF*: Impresa Ferroviaria;  
*IFN*: Infrastruttura Ferroviaria Nazionale;  
*LP*: Lunga Percorrenza;  
*MIT*: Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti;  
*MXP*: Malpensa Express;  
*NFTA*: Nuova Ferrovia Transalpina;  
*NTV*: Nuovo Trasporto Viaggiatori;  
*PIR*: Prospetto Informativo della Rete;  
*PL*: Passaggio a Livello;  
*PM*: Posto di Movimento;  
*PRG*: Piano Regolatore Generale;  
*PRM*: Persone a Ridotta Mobilità;  
*PRMT*: Programma Regionale Mobilità e Trasporti;  
*R*: Regionale;  
*RE*: Regio Express;  
*RFI*: Rete Ferroviaria Italiana;  
*RV*: Regionale Veloce;  
*S*: Suburbano;  
*SFR*: Sistema Ferroviario Regionale;  
*SNCF*: Société Nationale Française des Chemins de Fer;  
*TEN-T*: Trans European Transport Network;  
*TPL*: Trasporto Pubblico Locale;  
*UFT*: Ufficio Federale dei Trasporti;  
*UIC*: Union Internationale des Chemins de Fer;

## Appendice B

# Caratteristiche delle relazioni

La seguente appendice ha lo scopo di riportare per esteso tutte le relazioni considerate ai fini dell'analisi capacitiva nello scenario di base (orario 2021). I cambiamenti del modello di offerta negli scenari successivi, rispetto a quanto si riporta a seguire, sono evidenziati nel testo. La frequenza dei servizi merci non è specificata a causa della non regolarità del servizio. Il numero di corse effettuate nelle fasce orarie di punta e di morbida sono state esposte nel paragrafo 4.2.

Tabella 52 - Caratteristiche delle relazioni considerate ai fini dell'analisi capacitiva e relative allo scenario base 2021

ID	Nome	Estremi	Freq. punta	Freq. morb	Livello di velocità
1	AV	AV Milano C.le - Roma/Napoli TI	15	20	1
2	AV	AV Milano C.le - Roma/Napoli NTV	30	60	1
3	AV	AV Bergamo - Brescia - Roma <i>Spot</i>	1440	0	1
4	AV	AV Torino - Milano C.le TI	30	60	1
5	AV	AV Torino - Milano C.le NTV	30	60	1
6	AV	AV Torino - Milano P.G. - Roma TI	60	0	1
7	AV	AV Milano C.le - Venezia TI	30	30	1
8	AV	AV Milano C.le - Adriatica	1440	0	1
9	ES	Milano C.le - Adriatica (via Piacenza)	60	120	1
10	EC	Milano - Chiasso	60	120	1
11	EC	Milano - Domodossola	60	120	1
12	IC	Milano - Genova (- Ventimiglia)	60	60	1
13	IC	Milano - Piacenza (Adriatica/Dorsale)	1440	0	2
14	RV	Torino P.N. - Milano C.le	60	60	2
15	RV	Torino P.N. - Milano P.G.	60	0	2
16	RV	Milano C.le - Parma - Bologna C.le	120	120	2
17	RE2	Milano C.le - Bergamo (via Treviglio)	60	60	2

18	RE4	Milano C.le - Domodossola	60	120	2
19	RE5	Milano P.G. - Gallarate - Varese - Porto Ceresio	30	60	2
20	RE6	Milano C.le - Brescia - Verona	60	60	2
21	RE8	Milano C.le - Lecco - Sondrio - Tirano	60	60	2
22	RE 10	Milano C.le - Como - Chiasso - Bellinzona	60	60	2
23	RE 11	Milano C.le - Codogno - Cremona - Mantova	120	120	2
24	RE 13	Milano C.le - Pavia - Tortona - Alessandria/Genova	60	60	2
25	MPX	Milano C.le - Milano Bovisa FN - Malpensa	30	30	2
26	R23	Milano P.G. - Gallarate - Arona (- Domodossola)	60	60	3
27	Rspot	Milano P.G. - Gallarate - Luino	60	0	3
28	R14	Milano P.G. - Carnate - Bergamo	30	60	4
29	Rspot	Milano P.G. - Villapizzone - Treviglio - Bergamo	60	0	3
30	R4	Milano G.P. - Milano Lambrate - Brescia	60	60	3
31	Rspot	Milano P.G. - Treviglio (prosegue come R6)	60	0	3
32	R38	Milano G.P. - Lodi - Piacenza	60	60	3
33	R34	Milano G.P. - Pavia - Stradella - Piacenza	60	60	3
34	Rspot	Milano C.le - Pavia - Tortona - Novi Ligure	60	0	3
35	R31	Milano P. Genova - Mortara	60	60	3
36	Rspot	Milano P. Genova - Mortara - Alessandria	60	0	3
37	R21	Luino - Gallarate	60	60	3
38	R18	Como - Molteno	60	60	4
39	Rspot	(viene come R18) Molteno - Lecco	60	0	3
40	R15	Seregno - Carnate	60	60	3
41	R11	Colico - Chiavenna	60	60	3
42	R12	Sondrio - Tirano	120	120	3
43	R13	Lecco - Colico - Sondrio	60	60	3
44	R7	Lecco - Bergamo	60	60	3
45	R1	Bergamo - Brescia	30	60	3
46	R2	Bergamo - Treviglio	30	60	3
47	R6	Cremona - Treviglio	30	60	3
48	R5	Brescia - Cremona	60	60	3
49	R8	Brescia - Parma	60	60	3
50	R39	Codogno - Cremona	120	120	3
51	R40	Cremona - Mantova	120	120	3
52	R35	Pavia - Torreberetti - Alessandria	60	60	3
53	R36	Pavia - Mortara - Vercelli	60	60	3
54	R37	Pavia - Casalpusterlengo - Codogno	30	60	3
55	R41	Voghera - Piacenza	120	120	3
56	S1	Saronno - Mi. Bovisa FN - Lodi	30	30	4
57	S2	Seveso - Mi. Bovisa FN - Mi. Rogoredo	30	30	4



58	S5	Varese - Treviglio	30	30	4
59	S6	Novara - Pioltello	30	30	4
60	S6 p.	(viene come S6) - Pioltello - Treviglio	30	0	4
61	S7	Milano P.G. - Molteno - Lecco	60	60	4
62	S7 r.	Monza - Molteno - Lecco	60	0	4
63	S8	Milano P.G. - Carnate - Lecco	30	30	4
64	S9	Saronno - Seregno - Albairate	30	30	4
65	S10	Chiasso - Albate	60	60	3
66	S11	Milano P.G. - Como	30	30	4
67	S11 p.	Rho - Milano P.G.	60	60	4
68	S12	Cormano - Mi. Bovisa FN - Melegnano	30	0	4
69	S13	Mi. Bovisa FN - Pavia	30	30	4
70	Merci	(Novara -) - Treccate - Mi. Lambrate			5
71	Merci	Domo II - Premosello (- Novara)			5
72	Merci	Domo II - Gallarate			5
73	Merci	Luino - Sesto C. - Gallarate			5
74	Merci	Luino - Ternate - Gallarate			5
75	Merci	Domo II - Mi. Lambrate			5
76	Merci	Busto A. - Mi. Lambrate			5
77	Merci	Chiasso - Mi. Lambrate			5
78	Merci	Chiasso - Carimate / Desio			5
79	Merci	Chiasso - Lecco M.			5
80	Merci	Lecco M. - Mi. Lambrate			5
81	Merci	Lecco M. - Tirano			5
82	Merci	Mi. Smistamento - Verdello			5
83	Merci	Mi. Smistamento - Brescia Scalo			5
84	Merci	Mi. Smistamento - Melzo Scalo			5
85	Merci	Mi. Rogoredo - Cava Tigozzi - Cremona			5
86	Merci	Cremona - Mantova			5
87	Merci	Mi Rogoredo - Piacenza			5
88	Merci	Mi. Rogoredo - Tortona			5
89	Merci	Tortona - Piacenza			5
90	Merci	Mi. Lambrate - Mi. Smistamento			5
91	Merci	Mi. Lambrate - Mi. Rogoredo			5
92	Merci	Mi. Smistamento - Mi. Rogoredo			5
93	R23*	(da Milano P.G. -) Arona - Domodossola	120	120	3
94	AV	Milano C.le - Venezia NTV	60	60	1
95	S40	Albate - Mendrisio - Varese	60	60	3
96	S50	Bellinzona - Lugano - Varese - Malpensa T1	60	60	3



---

# Appendice C

## Caratteristiche dei tratti omogenei di rete e dei nodi

Si riportano sinteticamente le caratteristiche infrastrutturali delle tratte necessarie ai fini dell'analisi capacitiva.

La Tabella 53 evidenzia i tempi di percorrenza delle tratte considerate ai fini dell'analisi capacitiva nello scenario base 2021, mentre a seguire nella Tabella 54 sono esplicitate le specifiche di distanziamento delle stesse tratte, specificando, quando possibile, il numero dei posti di incrocio o dei posti di movimento intermedi.

Tabella 53 - Tempi di percorrenza delle tratte dello scenario base 2021, valore espressi in minuti

ID	TRATTE	D/S	Livelli di velocità				
			1	2	3	4	5
1	Domodossola - Bivio Toce	D	2	3	3	3	3
2	Bivio Toce - Bivio Valle	D	2	3	2	2	2
3	Bivio Toce - Domo II	S	3	3	3	3	3
4	Domo II - Bivio Valle	D	5	5	5	5	5
5	Bivio Valle - Premosello	D	4	4	7	7	7
6	Premosello - Arona	D	25	31	44	44	39
7	Arona - Sesto Calende	D	5	7	9	9	6
8	Sesto Calende - Gallarate	D	10	14	19	19	22
9	Gallarate - Busto Arsizio	D	3	5	4	4	5
10	Busto Arsizio - Parabiago	D	6	6	10	10	11
11	Parabiago - Rho	D	6	5	11	11	7
12	Pino Tronzano - Luino	S	13	13	17	17	17
13	Luino - Laveno	S	15	15	19	19	15
14	Laveno - Mornago	S	22	22	26	26	24

15	Mornago - Gallarate	S	10	10	10	10	8
16	Laveno - Ispra	S	12	12	12	12	12
17	Ispra - Sesto Calende	S	11	11	11	11	11
18	Varese - Albizzate	D	8	8	8	14	14
19	Albizzate - Gallarate	D	7	7	7	9	9
20	Novara - Trecate	D	5	6	7	7	9
21	Trecate - Magenta	D	5	6	7	7	8
22	Magenta - Vittuone	D	11	6	7	7	8
23	Vittuone - Rho	D	6	7	11	11	12
24	Rho - Milano Certosa (Varese)	D	8	7	9	9	10
25	Rho - Milano Certosa (Novara)	D	8	7	9	9	10
26	Rho - Milano Certosa (AV/AC)	D	3	7	7	7	7
27	Milano Certosa - PM Ghisolfi (Novara)	D	3	3	5	5	5
28	Milano Certosa - Bivio Musocco (Cintura)	D	3	3	3	3	4
29	Milano Certosa - Milano Lancetti	D	6	6	6	6	6
30	Milano Certosa - Triplo Bivio Seveso (Viaggiatori)	D	3	3	4	4	4
31	Bivio Musocco - Triplo Bivio Seveso (Cintura)	D	4	4	4	4	4
32	Bivio Musocco - PM Ghisolfi (Cintura)	D	3	3	4	4	4
33	Triplo Bivio Seveso - Quadrivio Turro	D	2	2	3	3	3
34	Triplo Bivio Seveso - Milano Greco Pirelli	D	5	5	5	5	5
35	Triplo Bivio Seveso - Milano Centrale (Viaggiatori)	D	4	6	7	7	7
36	Quadrivio Turro - Milano Lambrate (Merci)	D	4	4	4	4	4
37	Milano Greco Pirelli - Quadrivio Turro	D	3	3	3	4	5
38	Quadrivio Turro - Milano Lambrate (Venezia)	D	3	3	3	4	3
39	Bivio Mirabello - Quadrivio Turro	D	3	4	4	4	4
40	Milano Centrale - Quadrivio Turro (Venezia)	D	3	5	5	5	5
41	Quadrivio Turro - Milano Centrale (MXP)	D	6	6	6	6	6
42	PM Ghisolfi - Milano Porta Garibaldi (Novara)	D	4	5	5	6	6
43	PM Ghisolfi - Milano Porta Garibaldi (Cintura)	D	9	9	9	9	9
44	Milano Nord Bovisa - PM Ghisolfi	D	3	3	3	3	3
45	Milano Greco Pirelli - Bivio Mirabello	D	4	4	4	4	4
46	Bivio Mirabello - Milano Porta Garibaldi	D	5	4	4	4	4
47	Milano Centrale - Milano Lambrate (Bologna)	D	4	5	6	6	6
48	Milano Centrale - Milano Lambrate (Genova)	D	5	5	6	6	6
49	Milano Greco Pirelli - Milano Centrale (Chiasso)	D	5	5	6	6	6
50	Milano Lambrate - Milano Rogoredo (Bologna)	D	4	4	4	4	5
51	Milano Lambrate - Milano Rogoredo (Genova)	D	3	4	4	4	5
52	Milano Lambrate - Bivio Lambro (Venezia LL)	D	4	4	5	5	5
53	Milano Lambrate - Milano Smistamento	D	5	5	5	5	5
54	Milano Lambrate - PM Trecca (Cintura)	D	6	6	6	6	7

55	Milano Lambrate - Pioltello (Venezia <i>DD</i> )	D	5	6	6	6	6
56	PM Trecca - Milano Rogoredo (Merci)	D	4	4	4	4	4
57	PM trecca - Milano Rogoredo (Cintura)	D	3	3	5	5	5
58	Milano Smistamento - PM Trecca (Merci)	D	4	4	4	4	4
59	Bivio Lambro - Pioltello (Venezia <i>LL</i> )	D	3	3	3	7	7
60	Milano Porta Vittoria - Bivio Lambro	D	7	7	7	7	7
61	Milano Lancetti - Milano Porta Vittoria	D	12	12	12	12	12
62	Milano Porta Vittoria - Milano Rogoredo	D	7	7	7	7	7
63	Milano Rogoredo - Milano San Cristoforo	D	14	14	14	14	14
64	Milano Porta Genova - Milano San Cristoforo	S	6	6	8	8	8
65	Milano San Cristoforo - Albairate	D	10	10	10	22	10
66	Albairate - Abbiategrasso	S	4	4	4	4	4
67	Abbiategrasso - Vigevano	S	8	8	8	8	8
68	Vigevano - Parona L.	S	10	10	10	10	10
69	Parona L. - Mortara	S	7	7	7	7	7
70	Milano Smistamento - Pioltello	D	4	4	4	4	5
71	Pioltello - Melzo Scalo ( <i>LL</i> )	D	4	4	4	7	5
72	Pioltello - Melzo Scalo ( <i>DD</i> )	D	3	3	4	4	4
73	Melzo Scalo - PM Adda ( <i>LL</i> )	D	6	6	6	6	6
74	Melzo Scalo - Bivio Casirate ( <i>DD</i> )	D	3	3	4	4	5
75	Bivio Casirate - Bivio Roncadelle ( <i>AV</i> )	D	14	14	14	14	14
76	Bivio Casirate - PM Adda ( <i>DD</i> )	D	2	2	4	4	4
77	PM Adda - Treviglio ( <i>LL</i> )	D	2	2	2	3	2
78	PM Adda - Treviglio ( <i>DD</i> )	D	1	2	3	3	2
79	Treviglio - Verdello	D	14	14	14	14	14
80	PM Adda - Treviglio (Linea Bergamo)	D	2	2	2	2	2
81	Verdello - Bergamo	D	15	15	15	15	15
82	Treviglio - Romano	D	7	8	9	9	10
83	Romano - Rovato	D	11	14	17	17	20
84	Rovato - Ospitaletto T.	D	3	4	4	4	6
85	Ospitaletto T - Bivio Roncadelle	D	3	3	4	4	4
86	Bivio Roncadelle - Bivio Mella ( <i>LL</i> )	D	1	1	1	1	1
87	Bivio Mella - Brescia Scalo	D	4	4	4	4	4
88	Bivio Mella - Brescia	D	2	2	4	4	3
89	Milano Rogoredo - Certosa di Pavia	D	10	14	13	19	15
90	Certosa di Pavia - Pavia	D	5	5	7	8	6
91	Pavia - Bressana	D	8	8	10	10	10
92	Bressana - Voghera	D	7	10	13	13	10
93	Bressana - Pinarolo Po	S	3	3	3	3	9
94	Pinarolo Po - Broni	S	10	10	10	10	10

95	Pavia - Belgioioso	S	19	19	19	19	19
96	Belgioioso - Corteolona	S	9	9	9	9	9
97	Corteolona - Ospedaletto L.	S	22	22	22	22	22
98	Ospedaletto L. - Casalpusterlengo	S	9	9	9	9	9
99	Milano Rogoredo - Bivio PC Melegnano (DD)	D	5	6	7	7	9
100	Milano Rogoredo - Melegnano (LL)	D	10	10	9	15	7
101	Melegnano - Tavazzano	D	4	4	4	10	9
102	Tavazzano - Lodi	D	3	4	5	6	6
103	Bivio PC Melegnano - Tavazzano	D	3	3	3	5	3
104	Lodi - Secugnago	D	5	6	7	7	8
105	Secugnago - Casalpusterlengo	D	3	5	5	5	5
106	Casalpusterlengo - Codogno	D	2	3	5	5	4
107	Codogno - Piacenza	D	8	8	9	10	10
108	S. Niccolò - Piacenza	D	6	7	7	7	7
109	Castel San Giovanni - S. Niccolò	D	9	9	10	10	12
110	Arena Po - Castel S. Giovanni	D	4	4	5	5	5
111	Stradella - Arena Po	D	2	4	5	5	4
112	Broni - Stradella	D	2	3	5	5	3
113	Voghera - Broni	D	10	14	14	14	15
114	Voghera - Tortona	D	8	9	11	11	14
115	Tortona - Alessandria	D	20	21	24	24	22
116	Chiasso - Como S.G.	D	4	4	4	8	8
117	Como S.G. - Albate C.	D	4	4	6	6	5
118	Albate C. - Bivio Rosales	D	1	1	2	2	2
119	Chiasso - Bivio Rosales	D	5	5	8	8	8
120	Bivio Rosales - Carimate	D	6	5	10	10	10
121	Carimate - Seregno	D	6	6	9	9	9
122	Seregno - Desio	D	2	3	3	3	3
123	Desio - Monza	D	4	5	7	7	7
124	Monza - Sesto S.G. (Chiasso)	D	3	3	5	5	5
125	Monza - Sesto S.G. (Lecco)	D	3	3	4	4	7
126	Sesto S.G - Milano G. P. (Chiasso)	D	2	5	5	5	5
127	Sesto S.G - Milano G. P. (Lecco)	D	2	2	4	4	7
128	Monza - Villasanta	S	7	7	7	7	7
129	Villasanta - Triuggio	S	12	12	12	12	12
130	Triuggio - Besana	S	10	10	10	10	10
131	Besana - Molteno	S	18	18	18	18	18
132	Molteno - Valmadrera	S	19	19	19	19	19
133	Albate C. - Cantù	S	9	9	9	9	9
134	Cantù - Molteno	S	34	34	34	34	34

135	Valmadrera - Lecco	S	5	5	5	5	5
136	Carnate - Monza	D	8	8	10	10	12
137	Seregno - Carnate	S	15	15	15	15	19
138	Carnate - Calusco	S	12	12	12	12	12
139	Calusco - Ponte San Pietro	S	11	11	11	11	11
140	Calolziocorte - Carnate	D	16	16	16	21	22
141	Tirano - Ponte in Valtellina	S	19	19	30	30	30
142	Ponte in Valtellina - Sondrio	S	9	9	12	12	12
143	Sondrio - S. Pietro Berbenno	S	8	8	12	12	12
144	S. Pietro Berbenno - Ardenno	S	3	3	5	5	5
145	Ardenno - Morbegno	S	7	7	10	10	10
146	Morbegno - Delebio	S	9	9	9	9	9
147	Delebio - Colico	S	6	6	9	9	9
148	Colico - Piona	S	3	3	4	4	4
149	Piona - Bellano	S	12	12	15	15	15
150	Bellano - Lierna	S	11	11	13	13	13
151	Lierna - Mandello D.L.	S	5	5	11	11	11
152	Mandello D.L. - Lecco	S	10	10	15	15	15
153	Novate Mezzola - Colico	S	11	11	11	11	11
154	Chiavenna - Novate Mezzola	S	12	12	12	12	12
155	Lecco - Calolziocorte	D	6	6	9	9	9
156	Calolziocorte - Cisano	S	8	8	8	8	8
157	Cisano - Ponte S. Pietro	S	12	12	12	12	12
158	Ponte S. Pietro - Bergamo	S	7	7	9	7	7
159	Bergamo - Seriate	S	3	5	5	5	5
160	Seriate - Montello G.	S	5	5	7	7	7
161	Montello G. - Grumello	S	6	6	8	8	8
162	Grumello - Coccaglio	S	16	17	14	14	14
163	Coccaglio - Rovato	S	2	4	4	4	4
164	Treviglio - Casaletto	S	15	15	15	15	15
165	Casaletto - Crema	S	5	5	5	5	5
166	Crema - Casalbuttano	S	26	26	26	26	26
167	Casalbuttano - Olmeneta	S	10	10	10	10	10
168	Olmeneta - PM 5+420	S	4	4	4	6	11
169	PM 5+420 - Cremona	S	6	6	6	8	8
170	Brescia - S. Zeno F.	S	5	5	6	6	7
171	S. Zeno F. - Manerbio	S	13	13	13	13	25
172	Manerbio - Olmeneta	S	19	17	19	19	13
173	S. Zeno F. - Remedello Sopra	S	32	32	32	32	35
174	Remedello Sopra - Piacenza	S	24	24	24	24	38

175	Piadena - Casalmaggiore	S	12	12	12	12	12
176	Casalmaggiore - Torrile S.P.	S	14	14	14	14	14
177	Torrile S.P. - Parma	S	15	15	15	15	15
178	Cremona - Castelvetro	S	6	6	6	6	6
179	Castelvetro - Villanova D'Arda	S	6	6	8	8	10
180	Villanova D'Arda - Fidenza	S	17	17	23	23	21
181	Codogno - Acquanegra C.	S	15	15	19	19	15
182	Acquanegra C. - Cava Tigozzi	S	3	3	5	5	5
183	Cava Tigozzi - Cremona	D	8	8	10	10	5
184	Cremona - Villetta M.	S	5	5	7	7	9
185	Villetta M. - Piadena	S	11	11	19	19	30
186	Piadena - Bozzolo	S	5	5	10	10	10
187	Bozzolo - Marcaria	S	3	3	6	6	6
188	Marcaria - Castellucchio	S	5	5	12	12	12
189	Castellucchio - Mantova	S	10	10	10	10	14
190	Pavia - Cava Carbonara	S	5	5	6	6	6
191	Cava Carbonara - Mortara	S	38	38	38	38	38
192	Mortara - Palestro	S	18	18	18	18	18
193	Palestro - Vercelli	S	11	11	11	11	11
194	Milano Bovisa - Mi Lancetti	D	6	6	6	6	6
195	P.P. Induno - Varese	S	4	4	4	4	4
196	P.M. Bevera - P.P. Induno	D	6	6	6	6	6
197	Stabio - P.M. Bevera	D	6	6	6	6	6
198	Porto Ceresio - P.M. Bevera	S	10	10	10	10	10

Tabella 54 - Specifiche di distanziamento delle tratte dello scenario base 2021

ID	TRATTE	A tempo	A sblocco	N. incroci
1	Domodossola - Bivio Toce	6		
2	Bivio Toce - Bivio Valle	6		
3	Bivio Toce - Domo II		2	
4	Domo II - Bivio Valle	6		
5	Bivio Valle - Premosello	6		
6	Premosello - Arona	6		
7	Arona - Sesto Calende	6		
8	Sesto Calende - Gallarate	6		
9	Gallarate - Busto Arsizio	5		
10	Busto Arsizio - Parabiago	5		
11	Parabiago - Rho	5		
12	Pino Tronzano - Luino		2	1
13	Luino - Laveno		2	1



14	Laveno - Mornago		2	2
15	Mornago - Gallarate		2	
16	Laveno - Ispra		2	
17	Ispra - Sesto Calende		2	
18	Varese - Albizzate		2	2
19	Albizzate - Gallarate		2	1
20	Novara - Trecate	5		
21	Trecate - Magenta	5		
22	Magenta - Vittuone	5		
23	Vittuone - Rho	5		
24	Rho - Milano Certosa (Varese)	5		
25	Rho - Milano Certosa (Novara)	5		
26	Rho - Milano Certosa (AV/AC)	5		
27	Milano Certosa - PM Ghisolfa (Novara)	5		
28	Milano Certosa - Bivio Musocco (Cintura)	5		
29	Milano Certosa - Milano Lancetti	5		
30	Milano Certosa - Triplo Bivio Seveso (Viaggiatori)	5		
31	Bivio Musocco - Triplo Bivio Seveso (Cintura)	5		
32	Bivio Musocco - PM Ghisolfa (Cintura)	5		
33	Triplo Bivio Seveso - Quadrivio Turro	5		
34	Triplo Bivio Seveso - Milano Greco Pirelli	5		
35	Triplo Bivio Seveso - Milano Centrale (Viaggiatori)	5		
36	Quadrivio Turro - Milano Lambrate (Merci)	5		
37	Milano Greco Pirelli - Quadrivio Turro	5		
38	Quadrivio Turro - Milano Lambrate (Venezia)	5		
39	Bivio Mirabello - Quadrivio Turro	5		
40	Milano Centrale - Quadrivio Turro (Venezia)	5		
41	Quadrivio Turro - Milano Centrale (MXP)	5		
42	PM Ghisolfa - Milano Porta Garibaldi (Novara)	5		
43	PM Ghisolfa - Milano Porta Garibaldi (Cintura)	5		
44	Milano Nord Bovisa - PM Ghisolfa	5		
45	Milano Greco Pirelli - Bivio Mirabello	5		
46	Bivio Mirabello - Milano Porta Garibaldi	5		
47	Milano Centrale - Milano Lambrate (Bologna)	5		
48	Milano Centrale - Milano Lambrate (Genova)	5		
49	Milano Greco Pirelli - Milano Centrale (Chiasso)	5		
50	Milano Lambrate - Milano Rogoredo (Bologna)	5		
51	Milano Lambrate - Milano Rogoredo (Genova)	5		
52	Milano Lambrate - Bivio Lambro (Venezia LL)	5		
53	Milano Lambrate - Milano Smistamento	5		

54	Milano Lambrate - PM Trecca (Cintura)	5		
55	Milano Lambrate - Pioltello (Venezia <i>DD</i> )	5		
56	PM Trecca - Milano Rogoredo (Merci)	5		
57	PM trecca - Milano Rogoredo (Cintura)	6		
58	Milano Smistamento - PM Trecca (Merci)	5		
59	Bivio Lambro - Pioltello (Venezia <i>LL</i> )	6		
60	Milano Porta Vittoria - Bivio Lambro	5		
61	Milano Lancetti - Milano Porta Vittoria	3,5		
62	Milano Porta Vittoria - Milano Rogoredo	5		
63	Milano Rogoredo - Milano San Cristoforo	5		
64	Milano Porta Genova - Milano San Cristoforo		2	
65	Milano San Cristoforo - Albairate	4		
66	Albairate - Abbiategrasso		2	
67	Abbiategrasso - Vigevano		2	
68	Vigevano - Parona L.		2	
69	Parona L. - Mortara		2	
70	Milano Smistamento - Pioltello	8		
71	Pioltello - Melzo Scalo ( <i>LL</i> )	6		
72	Pioltello - Melzo Scalo ( <i>DD</i> )	5		
73	Melzo Scalo - PM Adda ( <i>LL</i> )	6		
74	Melzo Scalo - Bivio Casirate ( <i>DD</i> )	5		
75	Bivio Casirate - Bivio Roncadelle ( <i>AV</i> )	5		
76	Bivio Casirate - PM Adda ( <i>DD</i> )	5		
77	PM Adda - Treviglio ( <i>LL</i> )	5		
78	PM Adda - Treviglio ( <i>DD</i> )	6		
79	Treviglio - Verdello	5		
80	PM Adda - Treviglio (Linea Bergamo)	5		
81	Verdello - Bergamo	5		
82	Treviglio - Romano	5		
83	Romano - Rovato	5		
84	Rovato - Ospitaletto T.	5		
85	Ospitaletto T - Bivio Roncadelle	5		
86	Bivio Roncadelle - Bivio Mella ( <i>LL</i> )	5		
87	Bivio Mella - Brescia Scalo	5		
88	Bivio Mella - Brescia	5		
89	Milano Rogoredo - Certosa di Pavia	5		
90	Certosa di Pavia - Pavia	5		
91	Pavia - Bressana	5		
92	Bressana - Voghera	5		
93	Bressana - Pinarolo Po		2	

94	Pinarolo Po - Broni		2	
95	Pavia - Belgioioso		2	1
96	Belgioioso - Corteolona		2	
97	Corteolona - Ospedaletto L.		2	1
98	Ospedaletto L. - Casalpusterlengo		2	
99	Milano Rogoredo - Bivio PC Melegnano (DD)	5		
100	Milano Rogoredo - Melegnano (LL)	5		
101	Melegnano - Tavazzano	6		
102	Tavazzano - Lodi	6		
103	Bivio PC Melegnano - Tavazzano	5		
104	Lodi - Secugnago	6		
105	Secugnago - Casalpusterlengo	6		
106	Casalpusterlengo - Codogno	6		
107	Codogno - Piacenza	6		
108	S. Niccolò - Piacenza		2	
109	Castel San Giovanni - S. Niccolò		2	2
110	Arena Po - Castel S. Giovanni		2	
111	Stradella - Arena Po		2	
112	Broni - Stradella		2	
113	Voghera - Broni		2	2
114	Voghera - Tortona	6		
115	Tortona - Alessandria		2	2
116	Chiasso - Como S.G.	5		
117	Como S.G. - Albate C.	5		
118	Albate C. - Bivio Rosales	5		
119	Chiasso - Bivio Rosales	4		
120	Bivio Rosales - Carimate	4		
121	Carimate - Seregno	4		
122	Seregno - Desio	4		
123	Desio - Monza	4		
124	Monza - Sesto S.G. (Chiasso)	5		
125	Monza - Sesto S.G. (Lecco)	5		
126	Sesto S.G - Milano G. P. (Chiasso)	5		
127	Sesto S.G - Milano G. P. (Lecco)	5		
128	Monza - Villasanta		3	
129	Villasanta - Triuggio		3	
130	Triuggio - Besana		3	
131	Besana - Molteno		3	1
132	Molteno - Valmadrera		3	1
133	Albate C. - Cantù		2	

134	Cantù - Molteno		2	1
135	Valmadrera - Lecco		3	
136	Carnate - Monza	5		
137	Seregno - Carnate		2	1
138	Carnate - Calusco		3	1
139	Calusco - Ponte San Pietro		3	1
140	Calolziocorte - Carnate	6		
141	Tirano - Ponte in Valtellina		2	1
142	Ponte in Valtellina - Sondrio		2	
143	Sondrio - S. Pietro Berbenno		2	1
144	S. Pietro Berbenno - Ardenno		2	
145	Ardenno - Morbegno		2	
146	Morbegno - Delebio		2	1
147	Delebio - Colico		2	
148	Colico - Piona		2	
149	Piona - Bellano		2	1
150	Bellano - Lierna		2	1
151	Lierna - Mandello D.L.		2	
152	Mandello D.L. - Lecco		2	1
153	Novate Mezzola - Colico		2	
154	Chiavenna - Novate Mezzola		2	
155	Lecco - Calolziocorte	5		
156	Calolziocorte - Cisano		2	
157	Cisano - Ponte S. Pietro		3	1
158	Ponte S. Pietro - Bergamo		2	
159	Bergamo - Seriate		2	
160	Seriate - Montello G.		2	1
161	Montello G. - Grumello		2	
162	Grumello - Coccaglio		2	2
163	Coccaglio - Rovato		2	
164	Treviglio - Casaletto		2	1
165	Casaletto - Crema		2	
166	Crema - Casalbuttano		2	2
167	Casalbuttano - Olmeneta		2	
168	Olmeneta - PM 5+420		2	
169	PM 5+420 - Cremona		2	
170	Brescia - S. Zeno F.		2	
171	S. Zeno F. - Manerbio		2	1
172	Manerbio - Olmeneta		2	2
173	S. Zeno F. - Remedello Sopra		2	4

---

174	Remedello Sopra - Piadena		2	2
175	Piadena - Casalmaggiore		2	1
176	Casalmaggiore - Torrile S.P.		2	1
177	Torrile S.P. - Parma		2	
178	Cremona - Castelvetro		2	
179	Castelvetro - Villanova D'Arda		2	
180	Villanova D'Arda - Fidenza		2	2
181	Codogno - Acquanegra C.		2	1
182	Acquanegra C. - Cava Tigozzi		2	
183	Cava Tigozzi - Cremona		2	
184	Cremona - Villetta M.		2	1
185	Villetta M. - Piadena		2	2
186	Piadena - Bozzolo		2	
187	Bozzolo - Marcaria		2	
188	Marcaria - Castellucchio		2	
189	Castellucchio - Mantova		2	
190	Pavia - Cava Carbonara		2	
191	Cava Carbonara - Mortara		2	1
192	Mortara - Palestro		2	
193	Palestro - Vercelli		2	
194	Milano Bovisa - Mi Lancetti	5		
195	P.P. Induno - Varese		2	1
196	P.M. Bevera - P.P. Induno	5		
197	Stabio - P.M. Bevera	5		
198	Porto Ceresio - P.M. Bevera		2	



---

# Appendice D

## Utilizzazione

### delle tratte e dei nodi elementari

### negli scenari base 2021 e futuro oltre 2026

Nelle seguenti tabelle si riportano i valori di utilizzazione percentuali dei segmenti di rete, nonché dei nodi elementari a seguito dell'applicazione del modello analitico allo scenario base 2021. Le modifiche relative agli scenari successivi, rispetto a quanto segue, sono riportate nel testo.

Tabella 55 - Grado di utilizzazione delle tratte relativo agli scenari base 2021 e futuro oltre 2026, valori espressi in percentuale [%]

ID	TRATTE	U. P.	U. M.	U. P.	U. M.
		2021	2021	O.2026	O.2026
1	Domodossola - Bivio Toce	32	22	32	22
2	Bivio Toce - Bivio Valle	32	22	32	22
3	Bivio Toce - Domo II	0	0	0	0
4	Domo II - Bivio Valle	20	30	30	30
5	Bivio Valle - Premosello	60	60	60	60
6	Premosello - Arona	95	95	95	95
7	Arona - Sesto Calende	48	48	58	48
8	Sesto Calende - Gallarate	83	88	75	80
9	Gallarate - Busto Arsizio	82	65	92	70
10	Busto Arsizio - Parabiago	93	82	108	97
11	Parabiago - Rho	105	87	75	45
12	Pino Tronzano - Luino	35	35	35	35
13	Luino - Laveno	108	118	108	118
14	Laveno - Mornago	87	86	87	86

15	Mornago - Gallarate	93	90	93	90
16	Laveno - Ispra	27	47	27	47
17	Ispra - Sesto Calende	25	43	25	43
18	Varese - Albizzate	46	38	46	38
19	Albizzate - Gallarate	49	40	49	40
20	Novara - Trecate	48	38	48	38
21	Trecate - Magenta	47	37	47	37
22	Magenta - Vittuone	47	37	63	53
23	Vittuone - Rho	57	42	73	58
24	Rho - Milano Certosa (Varese)	57	45	80	80
25	Rho - Milano Certosa (Novara)	80	72	98	80
26	Rho - Milano Certosa (AV/AC)	42	17	33	13
27	Milano Certosa - PM Ghisolfi (Novara)	68	28	80	50
28	Milano Certosa - Bivio Musocco (Cintura)	8	25	37	45
29	Milano Certosa - Milano Lancetti	33	33	67	67
30	Milano Certosa - Triplo Bivio Seveso (Viaggiatori)	58	33	58	33
31	Bivio Musocco - Triplo Bivio Seveso (Cintura)	25	25	50	42
32	Bivio Musocco - PM Ghisolfi (Cintura)	17	0	17	0
33	Triplo Bivio Seveso - Quadrivio Turro	25	25	30	25
34	Triplo Bivio Seveso - Milano Greco Pirelli	0	0	0	0
35	Triplo Bivio Seveso - Milano Centrale (Viaggiatori)	65	40	65	40
36	Quadrivio Turro - Milano Lambrate (Merci)	75	100	80	93
37	Milano Greco Pirelli - Quadrivio Turro	77	87	63	72
38	Quadrivio Turro - Milano Lambrate (Venezia)	58	33	35	20
39	Bivio Mirabello - Quadrivio Turro	27	17	17	10
40	Milano Centrale - Quadrivio Turro (Venezia)	37	37	37	37
41	Quadrivio Turro - Milano Centrale (MXP)	17	17	17	17
42	PM Ghisolfi - Milano Porta Garibaldi (Novara)	78	27	88	53
43	PM Ghisolfi - Milano Porta Garibaldi (Cintura)	17	17	17	0
44	Milano Nord Bovisa - PM Ghisolfi	17	17	0	0
45	Milano Greco Pirelli - Bivio Mirabello	58	50	40	40
46	Bivio Mirabello - Milano Porta Garibaldi	85	67	57	50
47	Milano Centrale - Milano Lambrate (Bologna)	68	43	77	52
48	Milano Centrale - Milano Lambrate (Genova)	52	33	52	33
49	Milano Greco Pirelli - Milano Centrale (Chiasso)	25	25	25	25
50	Milano Lambrate - Milano Rogoredo (Bologna)	67	33	75	42
51	Milano Lambrate - Milano Rogoredo (Genova)	53	37	53	37
52	Milano Lambrate - Bivio Lambro (Venezia LL)	0	0	0	0
53	Milano Lambrate - Milano Smistamento	33	42	33	27
54	Milano Lambrate - PM Trecca (Cintura)	43	73	60	90



55	Milano Lambrate - Pioltello (Venezia DD)	63	45	63	45
56	PM Trecca - Milano Rogoredo (Merci)	33	75	42	75
57	PM trecca - Milano Rogoredo (Cintura)	20	20	40	40
58	Milano Smistamento - PM Trecca (Merci)	8	25	17	25
59	Bivio Lambro - Pioltello (Venezia LL)	40	40	40	40
60	Milano Porta Vittoria - Bivio Lambro	33	33	33	33
61	Milano Lancetti - Milano Porta Vittoria	70	58	93	82
62	Milano Porta Vittoria - Milano Rogoredo	67	50	100	83
63	Milano Rogoredo - Milano San Cristoforo	17	17	50	50
64	Milano Porta Genova - Milano San Cristoforo	50	33	0	0
65	Milano San Cristoforo - Albairate	67	40	80	80
66	Albairate - Abbiategrasso	30	20	40	40
67	Abbiategrasso - Vigevano	50	33	33	33
68	Vigevano - Parona L.	60	40	80	80
69	Parona L. - Mortara	45	30	60	60
70	Milano Smistamento - Pioltello	55	82	55	82
71	Pioltello - Melzo Scalo (LL)	67	67	67	67
72	Pioltello - Melzo Scalo (DD)	82	62	82	62
73	Melzo Scalo - PM Adda (LL)	60	60	60	60
74	Melzo Scalo - Bivio Casirate (DD)	72	52	72	52
75	Bivio Casirate - Bivio Roncadelle (AV)	25	25	25	25
76	Bivio Casirate - PM Adda (DD)	48	28	48	28
77	PM Adda - Treviglio (LL)	53	45	53	45
78	PM Adda - Treviglio (DD)	32	22	32	22
79	Treviglio - Verdello	33	25	33	25
80	PM Adda - Treviglio (Linea Bergamo)	17	17	17	17
81	Verdello - Bergamo	33	17	33	17
82	Treviglio - Romano	38	47	38	47
83	Romano - Rovato	48	57	48	57
84	Rovato - Ospitaletto T.	67	60	67	60
85	Ospitaletto T - Bivio Roncadelle	62	52	62	52
86	Bivio Roncadelle - Bivio Mella (LL)	58	50	58	50
87	Bivio Mella - Brescia Scalo	42	50	42	50
88	Bivio Mella - Brescia	48	28	48	28
89	Milano Rogoredo - Certosa di Pavia	87	93	-	-
90	Certosa di Pavia - Pavia	70	78	37	57
91	Pavia - Bressana	48	57	40	47
92	Bressana - Voghera	43	47	37	38
93	Bressana - Pinarolo Po	17	17	17	17
94	Pinarolo Po - Broni	40	40	40	40

95	Pavia - Belgioioso	58	38	58	38
96	Belgioioso - Corteolona	55	37	55	37
97	Corteolona - Ospedaletto L.	65	43	65	43
98	Ospedaletto L. - Casalpusterlengo	55	37	55	37
99	Milano Rogoredo - Bivio PC Melegnano (DD)	85	43	95	60
100	Milano Rogoredo - Melegnano (LL)	90	102	88	75
101	Melegnano - Tavazzano	70	100	72	88
102	Tavazzano - Lodi	82	100	33	50
103	Bivio PC Melegnano - Tavazzano	17	8	17	8
104	Lodi - Secugnago	57	80	48	67
105	Secugnago - Casalpusterlengo	53	73	42	58
106	Casalpusterlengo - Codogno	82	88	67	73
107	Codogno - Piacenza	32	47	28	38
108	S. Niccolò - Piacenza	39	39	39	39
109	Castel San Giovanni - S. Niccolò	25	25	25	25
110	Arena Po - Castel S. Giovanni	31	31	31	31
111	Stradella - Arena Po	29	29	29	29
112	Broni - Stradella	28	28	28	28
113	Voghera - Broni	19	19	19	19
114	Voghera - Tortona	68	78	13	27
115	Tortona - Alessandria	15	15	15	15
116	Chiasso - Como S.G.	33	33	27	27
117	Como S.G. - Albate C.	65	65	57	57
118	Albate C. - Bivio Rosales	37	37	30	30
119	Chiasso - Bivio Rosales	27	27	27	27
120	Bivio Rosales - Carimate	68	68	68	68
121	Carimate - Seregno	63	63	63	63
122	Seregno - Desio	62	62	62	62
123	Desio - Monza	68	68	68	68
124	Monza - Sesto S.G. (Chiasso)	93	93	77	77
125	Monza - Sesto S.G. (Lecco)	42	47	40	52
126	Sesto S.G - Milano G. P. (Chiasso)	88	88	72	72
127	Sesto S.G - Milano G. P. (Lecco)	42	47	40	52
128	Monza - Villasanta	50	33	67	67
129	Villasanta - Triuggio	75	50	93	93
130	Triuggio - Besana	65	43	80	80
131	Besana - Molteno	60	40	73	73
132	Molteno - Valmadrera	83	42	77	77
133	Albate C. - Cantù	37	37	37	37
134	Cantù - Molteno	63	63	63	63

135	Valmadrera - Lecco	53	27	47	47
136	Carnate - Monza	45	48	37	47
137	Seregno - Carnate	32	43	32	43
138	Carnate - Calusco	60	30	53	53
139	Calusco - Ponte San Pietro	57	28	50	50
140	Calolziocorte - Carnate	38	62	38	62
141	Tirano - Ponte in Valtellina	70	79	70	79
142	Ponte in Valtellina - Sondrio	63	70	63	70
143	Sondrio - S. Pietro Berbenno	47	55	47	55
144	S. Pietro Berbenno - Ardenno	40	48	40	48
145	Ardenno - Morbegno	70	82	70	82
146	Morbegno - Delebio	43	50	43	50
147	Delebio - Colico	63	74	63	74
148	Colico - Piona	37	43	37	43
149	Piona - Bellano	58	68	58	68
150	Bellano - Lierna	53	62	53	62
151	Lierna - Mandello D.L.	67	79	67	79
152	Mandello D.L. - Lecco	55	65	55	65
153	Novate Mezzola - Colico	43	43	43	43
154	Chiavenna - Novate Mezzola	47	47	47	47
155	Lecco - Calolziocorte	38	55	38	55
156	Calolziocorte - Cisano	33	33	33	33
157	Cisano - Ponte S. Pietro	30	30	27	27
158	Ponte S. Pietro - Bergamo	97	67	37	37
159	Bergamo - Seriate	53	23	62	42
160	Seriate - Montello G.	42	18	62	42
161	Montello G. - Grumello	75	33	75	33
162	Grumello - Coccaglio	52	22	52	22
163	Coccaglio - Rovato	45	20	45	20
164	Treviglio - Casaletto	48	32	48	32
165	Casaletto - Crema	35	23	35	23
166	Crema - Casalbuttano	53	36	53	36
167	Casalbuttano - Olmeneta	60	40	60	40
168	Olmeneta - PM 5+420	50	40	30	20
169	PM 5+420 - Cremona	67	53	40	27
170	Brescia - S. Zeno F.	53	53	27	27
171	S. Zeno F. - Manerbio	28	28	28	28
172	Manerbio - Olmeneta	28	28	28	28
173	S. Zeno F. - Remedello Sopra	28	28	28	28
174	Remedello Sopra - Piadena	33	33	33	33

175	Piadena - Casalmaggiore	27	27	43	35
176	Casalmaggiore - Torrile S.P.	30	30	30	30
177	Torrile S.P. - Parma	57	57	57	57
178	Cremona - Castelvetro	0	0	0	0
179	Castelvetro - Villanova D'Arda	0	0	0	0
180	Villanova D'Arda - Fidenza	0	0	0	0
181	Codogno - Acquanegra C.	67	83	43	59
182	Acquanegra C. - Cava Tigozzi	43	55	28	39
183	Cava Tigozzi - Cremona	30	42	40	52
184	Cremona - Villetta M.	38	39	32	35
185	Villetta M. - Piadena	63	66	57	75
186	Piadena - Bozzolo	72	72	63	75
187	Bozzolo - Marcaria	48	48	43	52
188	Marcaria - Castellucchio	82	82	70	83
189	Castellucchio - Mantova	93	97	93	108
190	Pavia - Cava Carbonara	53	53	53	53
191	Cava Carbonara - Mortara	70	70	70	70
192	Mortara - Palestro	67	67	67	67
193	Palestro - Vercelli	43	43	43	43
194	Milano Bovisa - Mi Lancetti	67	50	67	50
195	P.P. Induno - Varese	53	40	53	40
196	P.M. Bevera - P.P. Induno	33	25	33	25
197	Stabio - P.M. Bevera	17	17	17	17
198	Porto Ceresio - P.M. Bevera	80	40	80	40
199	Bivio Roncadelle - Bivio Mella (AV)	-	-	-	-
200	Parabiago - Rho (LL)	-	-	70	87
201	Mi. Rogoredo - Pieve Emanuele (DD)	-	-	28	22
202	Mi. Rogoredo - Pieve Emanuele (LL)	-	-	35	52
203	Pieve Emanuele - Certosa di Pavia (LL)	-	-	25	43
204	T2 - Gallarate Dev. Estr.	-	-	17	17
205	Gallarate dev. Estremo (lato T2) - Gallarate	-	-	47	47
206	Tavazzano - Lodi (DD)	-	-	37	28
207	Tortona - Voghera (DD)	-	-	23	15
208	Pieve Emanuele - Certosa di Pavia (DD)	-	-	32	25
209	Certosa di Pavia - Pavia (DD)	-	-	33	23

Tabella 56 - Grado di utilizzazione dei nodi elementari relativo agli scenari base 2021 e futuro oltre  
2026

ID	NODO	U. P. 2021	U. M. 2021	U. P. O.2026	U. M. O.2026
1	Rho 2O	50	42	-	-
2	Rho 2C	33	25	-	-
3	Rho 2E	45	37	-	-
4	Rho 1O	0	0	-	-
5	Rho 4O	62	53	-	-
6	Rho 4C	65	57	-	-
7	Certosa 2E	65	0	53	0
8	Certosa 3ECint.	58	40	80	63
9	Certosa 3E	58	40	77	60
10	Certosa 4E	45	42	67	63
11	Certosa 5E	0	0	37	37
12	Certosa 3O	53	47	63	53
13	Certosa 4O	68	55	0	0
14	Certosa 5O	55	42	60	60
15	Musocco	22	0	43	0
16	Ghisolfa 3	65	0	0	0
17	Garibaldi FT	38	13	32	17
18	Garibaldi 13O-D	17	12	33	17
19	Garibaldi 14E	33	25	37	33
20	Mirabello	78	63	87	80
21	Turro MPX	23	0	23	0
22	Turro Seveso	25	0	46	0
23	Turro Cintura O	32	0	48	0
24	Turro Cintura E	65	82	83	95
25	Turro VE	52	0	52	0
26	Lambrate 2N	55	83	-	-
27	Lambrate 8N	48	33	42	28
28	Lambrate 8S	42	0	42	0
29	Lambrate 9N	70	41	78	49
30	Lambrate 9S	67	0	75	0
31	Rogoredo Romana	0	0	23	23
32	Rogoredo Trecca	0	0	0	0
33	Rogoredo 1N	30	23	30	23
34	Rogoredo 1TN	0	0	0	0
35	Rogoredo 2TN	0	0	0	0
36	Rogoredo 5N	0	0	0	0

37	Rogoredo 4N	25	67	33	67
38	Rogoredo 3S	25	38	32	38
39	Rogoredo 5S	37	45	37	45
40	Pioltello 1O	0	0	0	0
41	Pioltello 4O	58	62	58	62
42	Pioltello 2E	0	0	0	0
43	Pioltello 3E	68	74	68	74
44	Greco 4S	0	0	0	0
45	Greco 8S	57	65	52	58
46	Greco 4N	52	54	47	50
47	Sesto 2S	33	30	37	37
48	Sesto 3S	77	81	67	70
49	Sesto 4S	0	0	0	0
50	Monza 2S	53	58	48	53
51	Monza 2N	0	0	0	0
52	Monza 4S	28	30	28	35
53	Monza 5S	18	15	23	23
54	(ex) Monza 4S sx	0	0	0	0
55	Trecca 2N	37	57	53	73
56	Trecca 3N	28	48	37	57
57	Melegnano 2N	33	0	42	0
58	Lodi 3N	35	54	45	56
59	Casalpusterlengo 1N	36	52	48	56
60	Codogno 3N	36	52	46	53
61	Codogno 2S	23	31	33	33
62	Pavia 2N	35	47	35	47
63	Pavia 3S	35	47	35	47
64	Pavia ex Gravellone	55	63	55	63
65	Bressana 1S	38	47	38	47
66	Voghera 4O	30	38	30	38
67	Tortona 2O	30	40	30	40
68	S. Cristoforo 2E	17	12	20	20
69	Magenta 1O	0	0	0	0
70	Busto Arsizio 3N	35	32	48	42
71	Busto Arsizio 6N	42	42	55	52
72	Gallarate 2S	32	29	43	36
73	Gallarate 2N	18	22	33	32
74	Gallarate 3N	16	20	16	20
75	Gallarate 5N	34	40	34	40
76	Gallarate 6N	41	45	41	45

77	Sesto Calende 2S	23	29	28	29
78	Sesto Calende 2N	0	0	0	0
79	Varese 2S	27	22	27	22
80	Desio 2N	57	52	57	52
81	Seregno 1S	0	40	0	40
82	Seregno 2S	63	55	55	48
83	Bivio Rosales	60	57	53	50
84	Albate C. 2N	37	33	33	30
85	Como 1S	25	23	25	23
86	Como 3S	30	28	30	28
87	Lecco 3S	13	13	13	13
88	Carnate 2S	0	33	0	38
89	Carnate 3N	0	25	0	28
90	Calolziocorte 2S	0	22	0	22
91	Calolziocorte 2N	0	25	0	25
92	Lecco M. 2S	0	22	0	22
93	Lecco M. 2N	0	18	0	18
94	(ex) Pioltello 3O	0	0	0	0
95	Pioltello 2O	0	0	0	0
96	Melzo scalo 2O	0	0	0	0
97	Melzo scalo 4O	0	0	0	0
98	Melzo scalo 2E	0	0	0	0
99	Melzo scalo 4E	0	0	0	0
100	PM Adda 2O	47	27	47	27
101	PM Adda 2E	43	26	43	26
102	PM Adda 5O	55	48	55	48
103	Treviglio 3O	0	0	0	0
104	Treviglio 6O	28	0	28	0
105	Treviglio 4E	0	0	0	0
106	Treviglio Ovest 1S	18	13	18	13
107	Bergamo 1O	0	0	0	0
108	Bergamo 3O	0	0	0	0
109	Rovato 2O	37	38	37	38
110	Bivio Roncadelle LL	0	0	0	0
111	Bivio Mella LL	51	45	51	45
112	Brescia Scalo 2O	0	0	0	0
113	Brescia Scalo 2E	0	0	0	0
114	Brescia 2O	20	13	20	13
115	Brescia 2E	0	0	0	0
116	P.M. Bevera	30	23	30	23

---

117	Bivio Mella D AV	42	47	42	47
118	Bivio Mella P AV	42	47	42	47
119	Magenta 1E	-	-	38	35
120	Montello 2O	-	-	44	37
121	Pieve E. 3S	-	-	48	57
122	Garibaldi 13O-P	-	-	23	0