

Politecnico di Milano



Facoltà di Ingegneria Civile, Ambientale e Territoriale

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

- Indirizzo infrastrutture di trasporto -

**Modellazione del grado di utilizzazione dell'infrastruttura
ferroviaria**

– Il Nodo di Milano allargato –

Relatore: Prof. Ing. Roberto Maja

Correlatore: Dott. Ing. Emmanuele Vaghi

Elaborato di laurea di:

Fabio Zenucchi Matr. 763230

Anno Accademico 2013 – 2014

Ringraziamenti

Desidero ringraziare il Dott. Ing. Emmanuele Vaghi per l'aiuto e l'impegno offerto durante la stesura della tesi e per l'alto livello formativo dell'attività di tirocinio accademico, in RFI s. p. a., alla quale ho preso parte.

Indice generale

Sommario	11
Introduzione	13
Capitolo 1: Capacità ferroviaria: elementi teorici.....	15
1.1 Definizioni e procedure secondo la normativa tecnica	15
1.1.1 Definizioni	15
1.1.2 Procedure per il calcolo della capacità delle linee	17
1.2 Specifiche tecniche d'orario.....	19
1.2.1 Tracce orarie, definizione e metodo di costruzione	19
1.2.2 Specifiche tecniche d'orario, definizioni	20
1.2.3 Specifiche tecniche di distanziamento	21
1.2.4 Specifiche tecniche di precedenza	23
1.2.5 Specifiche tecniche di incrocio	24
1.2.6 Specifiche tecniche d'interferenza	26
1.3 Modello di esercizio ad orario cadenzato.....	27
1.3.1 Definizioni	27
1.3.2 Il concetto di orologio	28
1.3.3 Dominio delle soluzioni possibili	28
1.3.4 Il concetto di simmetria	32
1.3.5 Vantaggi nell'adozione del modello di esercizio a orario cadenzato	34
1.4 Il concetto di taglio.....	35
Capitolo 2: Modello di calcolo	37
2.1 Obiettivi e finalità.....	37
2.2 Discretizzazione della rete	37
2.3 Dati di traffico	37
2.3.1 Definizione delle fasce e delle frequenze	38
2.3.2 Raccolta dei dati relativi ai servizi viaggiatori	39
2.3.3 Raccolta dei dati relativi ai servizi merci.....	40
2.4 Determinazione della capacità teorica.....	51
2.5 Capacità commerciale per linee a doppio binario a modello di esercizio eterotachico	54
2.5.1 Discretizzazione delle linee e delle tratte.....	54

2.5.2	Analisi e definizione dei livelli di velocità	55
2.5.3	Successione e compattazione delle tracce.....	55
2.5.4	Determinazione delle tracce di <i>sfrido</i>	57
2.5.5	Capacità commerciale	57
2.5.6	Considerazioni sul metodo.....	58
2.6	Capacità per linee a semplice binario con PBI.....	58
2.6.1	Descrizione della situazione infrastrutturale.....	58
2.6.2	Capacità massima ottenibile.....	60
2.6.3	Tracce di sfrido di prima approssimazione	60
2.6.4	Tracce di sfrido reali	63
2.7	Modellazione dei dati per il calcolo del grado di utilizzazione orario	65
2.8	Modellazione dei dati per il calcolo del peso dei tagli d'orario	68
2.9	Rappresentazione grafica dei dati.....	76
Capitolo 3:	Scenario attuale del grado di utilizzazione	77
3.1	Rete analizzata.....	77
3.2	Dati di input del modello.....	78
3.2.1	Carichi di traffico	78
3.2.2	Dati infrastrutturali.....	78
3.3	Grado di utilizzazione	79
3.4	Analisi del grado di utilizzazione riferito allo scenario attuale.....	79
3.4.1	Linea Gallarate – Laveno	79
3.4.2	Linea Sesto Calende – Laveno.....	80
3.4.3	Linea Laveno – Luino	80
3.4.4	Linea Rho – Gallarate	81
3.4.5	Linea Monza – Seregno	81
3.4.6	Linea Monza – Molteno.....	82
3.4.7	Linea Pioltello – P.M. Adda	82
3.4.8	Linea Milano Rogoredo – Lodi – Codogno	83
3.4.9	Linea Milano Rogoredo – Pavia	84
3.4.10	Linee del nodo di Milano	84
3.4.11	Linee molto eterotachiche con vincoli infrastrutturali per operazioni di precedenza.....	85
3.4.12	Tagli di Milano Certosa in radice est, linee “viaggiatori” e “Novara”	85

3.4.13	Tagli di Milano Porta Garibaldi in radice ovest, linea “Novara”	86
3.4.14	Tagli di Milano Porta Garibaldi in radice est	86
3.4.15	Taglio di Milano Greco Pirelli in radice sud, linea “Cintura”	87
3.4.16	Tagli di Sesto S. Giovanni in radice sud, linea “Chiasso”	87
3.4.17	Taglio di Milano Lambrate in radice nord, linea “Cintura”	88
3.4.18	Taglio di Pioltello in radice ovest, linea “DD”	88
3.4.19	Taglio di Monza in radice sud, linea “Lecco”	89
3.4.20	Taglio di Brescia in radice ovest	89
3.5	Osservazioni sul grado di utilizzazione riferito allo scenario attuale.....	90
Capitolo 4:	Scenario a regime del grado di utilizzazione	91
4.1	Interventi di potenziamento infrastrutturale implementati nel modello.....	91
4.1.1	Nuova linea AV Bivio Adda – Brescia Scalo	91
4.1.2	Nuova linea Varese – Arcisate – P. Ceresio / Stabio	93
4.1.3	Quadruplicamento Rho – Parabiago, PRG Rho e nuovo P.C. S. Giorgio....	94
4.1.4	Attivazione ACC multistazione e nuovi PRG lungo la direttrice Torino – Padova	96
4.1.5	Attuazione del PRG di Monza	97
4.1.6	Attivazione nuove stazioni lungo la linea Monza – Arcore	98
4.1.7	Dismissione della linea Milano S. Cristoforo – Milano Porta Genova.....	98
4.1.8	Potenziamento dei bacini bergamasco e lecchese.....	98
4.1.9	Attuazione del nuovo PRG di Milano Lambrate	102
4.1.10	Sezioni di lunghezza 900 m sulla linea Monza – Como – Chiasso	103
4.1.11	Realizzazione di un nuovo binario di attestamento a Milano Greco Pirelli	103
4.2	Modifiche al modello di esercizio previste	103
4.2.1	Direttrice AV Torino – Milano P. Garibaldi – Milano Rogoredo – Roma .	103
4.2.2	Linea Milano – Piacenza / Cremona	104
4.2.3	Passante ferroviario.....	104
4.2.4	Linea Milano – Mortara	105
4.2.5	Linee Milano – Bivio Adda / Bergamo / Brescia / Cremona	105
4.2.6	Linee Milano – Monza – Carnate – Lecco / Bergamo	107
4.2.7	Linee Como / Monza – Molteno – Lecco	107
4.2.8	Linea Milano – Monza – Como – Chiasso	108

4.2.9	Linea Milano P. Garibaldi – Milano Bovisa – (Saronno)	109
4.2.10	Linea Milano – Rho – Busto Arsizio / Malpensa.....	109
4.2.11	Linea Gallarate – Arona – Domodossola	110
4.2.12	Linea Gallarate – Luino	110
4.2.13	Linea Sesto Calende – Laveno FS	110
4.2.14	Linee Malpensa – Gallarate – Varese – Mendrisio / Porto Ceresio	111
4.2.15	Linea Milano Rogoredo – Pavia	112
4.2.16	Linea Milano Rogoredo – Codogno – Piacenza	112
4.2.17	Linea Pavia - Casalpusterlengo.....	112
4.2.18	Linea Milano – Novara	112
4.2.19	Studio del modello di esercizio per altre tratte con previsione di installazione di PBI.....	112
4.3	Dati di input del modello.....	113
4.4	Grado di utilizzazione	113
4.5	Analisi del grado di utilizzazione riferito allo scenario attuale.....	113
4.5.1	Linee Milano Certosa – Rho (via “Varese”, via “Novara”, via AV).....	114
4.5.2	Linea Milano Certosa – P.M. Ghisolfi – Milano P. Garibaldi (via “Novara”).....	114
4.5.3	Linea Milano P. Garibaldi – Bivio Mirabello	114
4.5.4	Linea Bivio Mirabello – Milano Greco Pirelli.....	115
4.5.5	Linea Milano Greco Pirelli – Sesto S. Giovanni (via “Chiasso”).....	115
4.5.6	Linea “Cintura”, tratta Milano Greco Pirelli – Milano Lambrate – Milano Rogoredo.....	115
4.5.7	Linea Milano Porta Vittoria – Milano Lancetti.....	116
4.5.8	Linea Milano Rogoredo – Codogno – Piacenza	116
4.5.9	Linea Milano Rogoredo – Pavia	116
4.5.10	Tratta Rho – Vittuone	117
4.5.11	Tratta Rho – Parabiago.....	117
4.5.12	Tratta Parabiago – Gallarate.....	117
4.5.13	Linee Gallarate – Laveno, Laveno – Luino e Sesto Calende – Laveno.....	118
4.5.14	Linea Monza – Seregno	118
4.5.15	Tratta Monza – Carnate.....	118
4.5.16	Linea Monza – Molteno.....	119

4.5.17	Linea Pioltello – Bivio Adda.....	119
4.5.18	Nuova tratta Varese – P.P. Induno	119
4.5.19	Linee dei bacini bergamasco e lecchese	120
4.5.20	Linea Treviglio – Rovato – Brescia	120
4.5.21	Tagli di Milano Certosa, Milano Porta Garibaldi, Bivio Mirabello, Milano Greco Pirelli	121
4.5.22	Taglio di Monza in radice sud.....	121
4.5.23	Tagli di Milano Lambrate	122
4.5.24	Tagli di Rho in radice ovest	122
4.5.25	Nuovo taglio di P.C. S. Giorgio	122
4.5.26	Tagli di Pioltello in radice ovest	122
4.5.27	Taglio di Gallarate in radice sud	123
4.5.28	Taglio di Seregno in radice sud.....	123
4.5.29	Taglio di Brescia in radice ovest	124
4.6	Osservazioni sul grado di utilizzazione a regime.....	124
Capitolo 5: Scenario del grado di utilizzazione con proposte di interventi infrastrutturali		127
5.1	Metodo per l'analisi delle criticità su tratte sature	127
5.1.1	Linee a doppio binario in BAcc	127
5.1.2	Linee a semplice binario in BCA o BEM	130
5.2	Proposte di interventi infrastrutturali	131
5.2.1	Linea Monza – Carnate – Calolziocorte	131
5.2.2	Linea Milano Rogoredo – Lodi – Codogno	131
5.2.3	Linea Milano Rogoredo - Pavia.....	132
5.2.4	Linea Rho – Magenta – Novara.....	132
5.2.5	Tratta Parabiago – Gallarate	133
5.2.6	Linea Gallarate – Laveno.....	133
5.2.7	Linea Laveno – Luino	134
5.2.8	Linea Varese – Porto Ceresio – Mendrisio.....	134
5.2.9	Linee del nodo di Milano	135
5.2.10	Stazione di Milano Certosa.....	136
5.2.11	Stazione di Milano Porta Garibaldi.....	136
5.2.12	Stazioni con attestamenti e diramazioni	137

5.3	Dati di input del modello.....	137
5.4	Grado di utilizzazione	137
5.5	Analisi del grado di utilizzazione riferito allo scenario attuale.....	137
5.5.1	Linee Milano Certosa – Rho (via “Varese”, via “Novara”, via AV)	137
5.5.2	Linea P.M. Ghisolfi – Milano P. Garibaldi (via “Novara”)	138
5.5.3	Linea Milano P. Garibaldi – Bivio Mirabello	138
5.5.4	Linea Bivio Mirabello – Milano Greco Pirelli.....	139
5.5.5	Linea “Cintura”, tratta Milano Greco Pirelli – Milano Lambrate – Milano Rogoredo.....	139
5.5.6	Linea Milano Rogoredo – Codogno – Piacenza	140
5.5.7	Linea Milano Rogoredo – Pavia	140
5.5.8	Tratta Rho – Vittuone	140
5.5.9	Tratta Parabiago – Gallarate.....	140
5.5.10	Linea Gallarate – Laveno – Luino	141
5.5.11	Linea Monza – Carnate – Lecco	141
5.5.12	Tagli di Milano Certosa.....	142
5.5.13	Tagli di Milano Porta Garibaldi	142
5.5.14	Tagli di Milano Greco Pirelli	142
5.5.15	Tagli di Seregno	143
5.6	Osservazioni sul grado di utilizzazione con le proposte di interventi infrastrutturali avanzate.....	143
Capitolo 6: Conclusioni		145
1.1.1 Appendice A		147
BIBLIOGRAFIA		149
TAVOLE		

Sommario

L'elaborato si propone di presentare un metodo di calcolo del grado di utilizzazione dell'infrastruttura ferroviaria in riferimento al caso applicativo specifico del nodo di Milano allargato¹, riferendolo alla situazione attuale e alla situazione di evoluzione prevista dei servizi e delle infrastrutture, col fine di evidenziare i punti di criticità del sistema che si hanno e che si verranno a determinare, di analizzare l'efficacia degli interventi e, in seguito, proporre interventi atti a risolvere le criticità residue.

Si procede inizialmente definendo i concetti teorici che caratterizzano la capacità ferroviaria, in riferimento alla normativa tecnica in vigore e a studi tecnico – scientifici. Si presenta quindi il metodo di analisi adottato per lo studio del grado di utilizzazione del nodo di Milano allargato, analizzando, dapprima, le scelte, le ipotesi e le procedure di calcolo effettuate sui dati di input del modello, ovvero dati di traffico, dati infrastrutturali e dati relativi al modello di esercizio. Vengono esposte, in particolare, le scelte e le procedure adottate per determinare i carichi di traffico relativi ai servizi merci. Si propongono, inoltre, un metodo innovativo di determinazione della capacità ferroviaria per il caso di linee con modello di esercizio eterotachico² e un metodo innovativo per la determinazione della capacità per linee a semplice binario con PBI³. Si propone, infine, un algoritmo di calcolo del peso delle interferenze a raso d'orario, o tagli, elemento descrittivo importante nella determinazione della capacità residua dell'infrastruttura.

Si presentano quindi i dati di output dell'algoritmo descritto, riportando e analizzando i risultati riferiti a due scenari infrastrutturali e di offerta commerciale: l'attuale e quello a regime⁴, evidenziando il grado di efficacia dei nuovi interventi infrastrutturali.

Vengono quindi avanzate proposte di interventi infrastrutturali atti a risolvere le criticità residue e, implementandoli nel modello, viene nuovamente condotto il calcolo del grado di utilizzazione.

¹ Il nodo di Milano è definito come l'insieme delle linee ferroviarie urbane e suburbane delimitate esternamente dalle stazioni di porta, ovvero Pioltello – Limite, Milano Rogoredo, Milano S. Cristoforo, Rho, Milano Bovisio Politecnico FNME, Monza. Per nodo di Milano *allargato* si intende quello formato dalle linee del nodo con, in aggiunta, le linee esterne al nodo considerate maggiormente critiche in termini di livello di utilizzazione.

² Eterotachico: caratterizzato da tracce a più livelli di velocità. Meglio definito in seguito.

³ PBI: posto di blocco intermedio. Unico caso, per la rete considerata, è la tratta Varese – PP Induno, con regime di distanziamento BCA.

⁴ Per scenario infrastrutturale *a regime* si intende quello comprensivo delle fasi definitive e operative degli interventi infrastrutturali finanziati e/o in fase di realizzazione.

Introduzione

La domanda di mobilità su ferro riferita a persone e merci nelle aree metropolitane, suburbane e circondariali delle grandi città europee è in continua crescita. Il trasporto ferroviario, per le sue caratteristiche peculiari di sede indipendente dal traffico su gomma, elevata velocità, ridotto impatto ambientale, maggior visibilità e regime di circolazione controllato, garantisce una mobilità più confortevole, affidabile e sicura rispetto ai vettori su gomma. Alle imprese ferroviarie, infatti, vengono richiesti, commissionati e finanziati servizi sempre più frequenti ed efficienti, specialmente in realtà in cui le istituzioni politiche locali sanno identificare nel trasporto ferroviario una risorsa essenziale per lo sviluppo economico, sociale e culturale del territorio. L'offerta realizzabile tuttavia non è infinita, ma dipende dalle caratteristiche tecniche della rete, dei veicoli e dal regime di esercizio che si vuole attuare su una specifica tratta. Per tale motivo, è essenziale conoscere la capacità dell'infrastruttura esistente e il livello di saturazione della stessa. Con un quadro di riferimento ben determinato della prossimità a utilizzazione della rete, infatti, è possibile individuare le tratte o le realtà puntuali che necessitano di interventi infrastrutturali (e la natura degli stessi) a fronte di un incremento o una modifica del servizio esistente, o al fine della velocizzazione e/o del miglioramento della regolarità dei servizi esistenti.

Una realtà esemplificativa della situazione presentata, in cui il servizio ferroviario di ogni tipologia è in costante crescita, può essere rappresentata dal nodo ferroviario di Milano. L'area urbana e metropolitana di Milano si identifica perfettamente nel ruolo di polo attrattore a scala metropolitana, suburbana, regionale ma anche nazionale. La Regione Lombardia ha promosso e continua a promuovere una politica di incremento dell'offerta del servizio ferroviario, a scala suburbana e regionale, attraverso una pianificazione tecnica dell'offerta e attraverso finanziamenti dei servizi e del rinnovo del parco veicoli. Oltre ai servizi regionali e suburbani, il nodo ferroviario di Milano è interessato da servizi merci e servizi ferroviari viaggiatori di interesse nazionale. I servizi Alta Velocità (AV) effettuati dalle diverse imprese ferroviarie sono in costante crescita e, seppur con l'andamento meno regolare necessario a seguire le fluttuazioni delle esigenze produttive e commerciali del settore industriale, anche le imprese che si occupano di trasporto merci richiedono spesso la disponibilità di nuove tracce orarie. Nel quadro descritto, al fine di un intervento mirato nella scelta e definizione degli interventi infrastrutturali prioritari ed

essenziali e per poter così implementare al meglio il servizio ferroviario richiesto dalle imprese ferroviarie e dalla clientela ultima, risulta di massima importanza il calcolo del grado di utilizzazione della rete, a sua volta dipendente dalle caratteristiche dei servizi ferroviari che la caratterizzano, considerando gli scenari attuale e a regime.

Capitolo 1: Capacità ferroviaria: elementi teorici

Nel presente capitolo sono forniti gli elementi teorici necessari alla comprensione del concetto di capacità ferroviaria in riferimento al lavoro di analisi svolto. Si procede definendo dapprima la terminologia inerente la capacità ferroviaria; si descrive poi il metodo di calcolo della capacità per le linee presentato dalla normativa; si riportano elementi descrittivi relativi alle specifiche dello Scenario Tecnico⁵; si descrive infine il modello di esercizio a orario cadenzato, tipico della maggior parte dei contesti europei evoluti ed applicato nel nodo di Milano.

1.1 Definizioni e procedure secondo la normativa tecnica

La normativa tecnica RFI, attraverso comunicazione operativa n°67 del 7 aprile 2004 [1], recependo la norma *Fiche UIC 405* [2], ha stabilito le definizioni e ha proposto un metodo per il calcolo della capacità e del grado di utilizzazione per quel che riguarda le linee. Il metodo si basa sulle *specifiche di distanziamento* contenute nello Scenario Tecnico RFI, meglio definite al paragrafo 1.2.

1.1.1 Definizioni

Si procede innanzi tutto definendo la terminologia tecnica che verrà utilizzata nella trattazione, secondo le definizioni della normativa tecnica vigente [1] [2].

Capacità (Capacity [2]): La capacità di una data infrastruttura ferroviaria è il numero complessivo di tracce orarie possibili, in un intervallo di tempo definito, considerando il mix di offerta (effettivo, previsto o ipotetico), e tenendo conto della qualità richiesta dal mercato (puntualità e stabilità dell'offerta, intesa come capacità di attenuarne le perturbazioni) [1].

Corridoio (Corridor [2]): Il complesso di itinerari (principale ed eventuali alternativi) che collegano due località origine/destinazione di rilevanti quantità di tracce per traffico nazionale e/o internazionale, in funzione della domanda del mercato; può coincidere con un itinerario ovvero esserne costituito da più di uno, in serie e/o parallelo [1].

Itinerario (Route [2]): infrastruttura di collegamento lineare fra due località origine e destinazione di tracce orarie; è costituito di norma da una successione di linee e nodi [1].

⁵ Lo Scenario Tecnico RFI è il documento che definisce, linea per linea, le caratteristiche e le specifiche tecniche di ogni tratta e di ogni impianto facente parte della linea.

Linea (Line [2]): infrastruttura ferroviaria di collegamento fra due nodi o importanti località di diramazione; è di norma suddivisa in tratte [1].

Tratta (Line Section [2]): Parte di una linea nella quale il traffico (inteso come quantità e mix di tracce) e le caratteristiche dell'infrastruttura (intese come numero e attrezzaggio tecnologico dei binari) si mantengono costanti; nei casi di discontinuità dell'attrezzaggio tecnologico su distanze inferiori ai 30 km, è opportuno individuare la tratta considerando unicamente la costanza del traffico; nei casi di omogeneità di traffico e caratteristiche infrastrutturali è comunque opportuno limitare la lunghezza della tratta a 30 chilometri. La tratta è suddivisa in sezioni di distanziamento [1].

Sezione di distanziamento (Distance Spacing [2]): Parte di una tratta che può essere impegnata contemporaneamente da non più di un treno senza dar luogo a condizionamenti di alcun tipo sui treni a seguito[1].

Sezione rilevante (Relevant Block Section [2]): La sezione di distanziamento che, in ciascuna tratta, determina il maggior intervallo di tempo fra il passaggio di due treni in successione [1].

Binario unidirezionale: binario percorso sempre nella stessa direzione; un binario può essere unidirezionale anche solo in finestre orarie ben individuate nell'arco della giornata [1].

Binario bidirezionale: binario percorso alternativamente nelle due direzioni; un binario può essere bidirezionale anche solo in finestre orarie ben individuate nell'arco della giornata [1].

La Norma Interna RFI [1] fornisce i criteri ed i metodi di calcolo per determinare la capacità in diverse condizioni, a complessità crescente. Si definiscono di seguito le diverse condizioni contemplate dalla normativa e oggetto di interesse ai fini della presente trattazione.

Capacità teorica (Theoretical Capacity [2]): è un valore che dipende solo dalle caratteristiche dell'infrastruttura e dai livelli di puntualità desiderata; rappresenta la quantità massima di tracce possibili con un piano di trasporto ideale fondato su rigida omotachia e distanziamento pari a quello prescritto dallo Scenario Tecnico [1].

Capacità commerciale (Capacity [2]): dipende dalle caratteristiche dell'infrastruttura, dalla qualità desiderata e dalle esigenze del mercato, e rappresenta la quantità massima di tracce possibili con una struttura di offerta coerente con la eterogeneità della domanda in termini di velocità commerciali e con distanziamento pari a quello prescritto dallo

Scenario Tecnico [1].

Grado di utilizzazione (Capacity Consumption [2]): rappresenta la quota parte (%) della capacità assorbita da un programma di tracce orarie definito, ovvero da un programma di tracce assegnate [1].

Capacità assegnata: rappresenta la quantità della capacità commerciale che è stata assegnata alle imprese ferroviarie [1].

Capacità residua commerciale (Usable Capacity [2]): rappresenta la quantità della capacità commerciale, non assegnata alle imprese ferroviarie, che è utilizzabile per soddisfare nuove richieste in corso d'orario e/o per inoltrare in gestione operativa eventuali treni in ritardo [1].

1.1.2 Procedure per il calcolo della capacità delle linee

Si presentano di seguito le procedure di calcolo della capacità secondo normativa [1] utili ai fini della trattazione. Verrà considerato solo il calcolo della capacità oraria, non di quella giornaliera, in quanto è più descrittivo del grado di utilizzazione della rete in condizioni di esercizio normale.

Il calcolo della capacità teorica oraria totale, comprensiva delle due direzioni (pari e dispari), per linee con binari unidirezionali (caso delle linee a doppio binario) secondo normativa è dato dalla seguente equazione [1]:

$$C_{\text{teorica oraria}} = N \cdot (60/Dn) \quad (1)$$

Dove:

- N è il numero di binari;
- Dn [min] è il tempo di distanziamento in linea indicato come “normale” nello Scenario Tecnico; qualora esso debba essere derivato dal tempo di sblocco, quest'ultimo deve essere calcolato sulla sezione rilevante considerandone il tempo medio di percorrenza, ovvero in prima approssimazione il tempo percorso alla velocità di rango A, trascurando in quest'ultimo caso gli eventuali *allungamenti*⁶ di percorrenza.

Per binari utilizzati con flussi bidirezionali il calcolo della capacità oraria totale, comprensiva delle due direzioni (pari e dispari), indicato dalla normativa è dato dalla seguente equazione [1]:

$$C_{\text{teorica oraria}} = 60/(Td + z) \quad (2)$$

⁶ Per una definizione più accurata degli allungamenti di percorrenza si veda il paragrafo 1.2.1.

Dove:

- T_d [min] è il tempo necessario a percorrere alla velocità di rango A la sezione rilevante senza considerare gli eventuali *allungamenti* di percorrenza;
- z [min] è il tempo di incrocio indicato dallo Scenario Tecnico.

La capacità commerciale è inferiore a quella teorica, quanto più aumentano il numero dei livelli di velocità commerciale presenti sulla linea, le differenze di velocità fra tali livelli, la distanza fra gli impianti ove è possibile effettuare precedenza (binari unidirezionali) ed incroci (binari bidirezionali), la percentuale di vuoti tecnici. La capacità commerciale oraria totale, comprensiva delle due direzioni (pari e dispari), è determinata, in prima approssimazione dall'equazione di seguito [1]:

$$C.comm.oraria = C.teorica\ oraria / KI \quad (3)$$

Dove:

- Per il parametro KI può essere assunto orientativamente il valore 1,0 in presenza di un solo significativo livello di velocità commerciale; 1,3 di due o tre livelli; 1,5 di quattro o cinque livelli.

Per il calcolo del parametro KI esistono anche metodi analitici che si considerano nel dettaglio il modello di esercizio caratterizzante la tratta⁷. Il metodo presentato nei capitoli successivi prescinde dal parametro KI .

Il grado di utilizzazione, secondo normativa “è riferito ad un’offerta complessiva di tracce predefinite ovvero ad un programma di tracce assegnate, ed è calcolato con il metodo denominato *compattazione*⁸, ovvero riconducendone i distanziamenti effettivi ai valori indicati nello Scenario Tecnico come normali” [1]. Il grado di utilizzazione totale, relativo quindi alle due direzioni (pari e dispari), secondo normativa, è calcolabile attraverso la seguente equazione [1]:

$$G.utilizz.orario = X \cdot 100 / 60 \quad (4)$$

Dove:

- X [min] è l’ampiezza della finestra temporale necessaria per rappresentare graficamente tutte le tracce previste nell’ora utilizzando sempre i distanziamenti indicati dallo Scenario Tecnico come “normali”.

⁷ Si veda, ad esempio [4].

⁸ Per ulteriori informazioni sul metodo di *compattazione* si veda [7].

1.2 Specifiche tecniche d'orario

Elemento fondamentale per il calcolo della capacità nel quadro della Fiche UIC 405[2] e delle normative nazionali derivate sono le specifiche tecniche d'orario, ovvero gli intervalli minimi da programmare tra l'utilizzo di un tratto di binario da parte di una circolazione e quella successiva. Infatti le specifiche tecniche *di distanziamento e incrocio* costituiscono dati di ingresso per calcolare la capacità infrastrutturale. È importante quindi entrare nel merito di tali parametri e capirne il significato.

1.2.1 Tracce orarie, definizione e metodo di costruzione

Preliminarmente all'analisi delle specifiche tecniche di distanziamento è essenziale introdurre il concetto di *traccia oraria* ed esaminarne i principi generali di progettazione. La traccia oraria è definibile come la “frazione di capacità dell'infrastruttura necessaria a far viaggiare un convoglio tra due località in un determinato periodo temporale” [6]. Le tracce orarie sono costruite come una spezzata di segmenti nel grafico orario spazio-tempo tra punti significativi detti *Punti Orario*, individuati da una progressiva chilometrica lungo la linea [6]. I Punti Orario sono presenti in ogni località di servizio, generalmente ubicati sull'asse del Fabbricato Viaggiatori o dell'Ufficio Movimento. I tempi di percorrenza tra due successivi Punti Orario sono determinati dalle *Tablette di Percorrenza*, per le 4 combinazioni possibili tra *fermata* e *passaggio* del treno tra i due Punti Orario. Le tabelle di percorrenza indicano i tempi di *percorrenza pura*⁹, sono generate elettronicamente per la composizione di materiale rotabile desiderata nell'interazione tra due categorie di dati di input [6]:

- dati infrastrutturali: lunghezza di tratta, profilo statico di velocità per il rango in cui è impostato il treno, posizione e pendenza delle livellette, posizione e raggio delle curve, posizione e caratteristiche delle eventuali gallerie;
- dati sul materiale rotabile: sforzo di trazione, resistenza dell'unità di trazione e della colonna rimorchiata, velocità massima del mezzo di trazione e della colonna rimorchiata, massa rimorchiata, tipo di frenatura, percentuale di massa frenata, lunghezza del treno.

⁹ Il tempo di *percorrenza pura* è calcolato nell'ipotesi di assenza di qualsiasi intralcio al treno dovuto alle interazioni con altri treni, riproducendo la circolazione di un treno che viaggi sui binari di corretto tracciato avendo a disposizione l'intera infrastruttura in assoluta esclusiva ed in assenza di degradi della stessa [6].

La *percorrenza pura* è riferita a condizioni di marcia ordinarie, non con i mezzi alle massime prestazioni. Il *tempo di percorrenza minimo* tra due Punti Orario si determina aggiungendo alla percorrenza pura degli *allungamenti*, ovvero minuti o semiminuti di aggravio sul tempo di percorrenza. Esistono tre tipi di *allungamenti* [6]:

- *allungamenti tecnici*, contenenti gli aggravii di percorrenza dovuti all'impostazione su itinerari diversi dal corretto tracciato oppure dovuti alle caratteristiche dei sistemi di protezione della marcia del treno;
- *allungamenti per lavori*, che tengono conto che durante la vita dell'orario può essere necessario effettuare lavorazioni al binario per le quali la circolazione in sicurezza richiede l'imposizione di una riduzione di velocità temporanea;
- *allungamenti di puntualità*, che danno robustezza alla traccia permettendo di assorbire gli scostamenti che potenzialmente si generano per le irregolarità contingenti che si possono avere nella marcia o nelle soste. Il valore di riferimento, tradizionalmente in Italia, è di 2' ogni 100 km. Generalmente sono concentrati a fine percorso rispetto all'intera traccia.

Il *tempo di percorrenza programmato*, che determina la *traccia oraria*, si ottiene aggiungendo il tempo di sosta e gli ulteriori allungamenti eventualmente necessari per rispettare i vincoli tra i diversi treni in circolazione sull'infrastruttura. Tali vincoli sono definiti dalle *Specifiche tecniche d'Orario* [6].

1.2.2 Specifiche tecniche d'orario, definizioni

Per *specifiche di distanziamento* si intende l'intervallo minimo, in minuti o semiminuti, tra il passaggio programmato della testa di un treno ad un Punto Orario e l'orario programmato per il passaggio della testa del treno successivo, sullo stesso binario, allo stesso Punto Orario [6].

Le *specifiche di precedenza*, definite in minuti o semiminuti, regolano le operazioni di precedenza, secondo l'orario programmato, da effettuarsi tra treni a velocità commerciale diversa. Per *specifiche di precedenza di monte* si intende l'intervallo minimo tra l'arrivo del treno che cede il passo e l'arrivo o transito di quello che prende il passo a un definito Punto Orario. Per *specifiche di precedenza di valle* si intende l'intervallo minimo tra la partenza o il transito del treno che prende il passo e la partenza del treno che cede il passo allo stesso Punto Orario.

Le *specifiche di incrocio*, definite in minuti o semiminuti, regolano le operazioni di incrocio, secondo l'orario programmato, da effettuarsi tra treni che utilizzano in direzioni diverse lo stesso binario di linea.

Esistono poi le *Specifiche di interferenza*, definite in minuti o semiminuti, che regolano l'inoltro di treni successivi sullo stesso tratto di binario all'interno di una località di servizio oppure traducono i vincoli tra il passaggio di treni su binari diversi all'interno della stessa località di servizio.

Tali valori sono elementi fondamentali per la progettazione della griglia oraria e determinano la realizzabilità o non realizzabilità degli schemi desiderati. Per il lavoro in oggetto ci limiteremo a considerare la loro importanza in riferimento al calcolo della capacità.

1.2.3 Specifiche tecniche di distanziamento

Il valore delle *specifiche di distanziamento* dipende primariamente dal *tempo di bloccamento* della sezione, cioè dal tempo in cui la sezione è adibita all'esclusivo uso di un determinato treno. Poiché la specifica di distanziamento non è differenziata per le quattro combinazioni passaggio – sosta riportate nelle tabelle di percorrenza, essa è definita per la situazione più impegnativa, cioè quella di treni in transito nelle località limitrofe alla sezione. Il valore di specifica è dimensionato per garantire che la disposizione a via libera del segnale per i treni a seguito avvenga con anticipo sufficiente perché essi non abbiano marcia perturbata a causa di aspetti di segnalamento restrittivi. Il tempo di bloccamento t_B è costituito dai seguenti elementi [6]:

- tempo di creazione dell'itinerario t_{ISe} ;
- tempo per la visibilità del primo segnale di avviso che può assumere aspetto restrittivo per la sezione in oggetto t_{vis} ;
- tempo di percorrenza tra il primo segnale di avviso che può assumere aspetto restrittivo per la sezione in oggetto ed il segnale di blocco della sezione in oggetto t_{avv} ;
- tempo di percorrenza tra il segnale di blocco ed il segnale di blocco della successiva sezione, più la distanza tra segnale e giunto di fine sezione, più la lunghezza di eventuali circuiti di ricoprimento, t_p ;

- tempo necessario perché tutta la lunghezza del treno liberi la sezione e l'eventuale circuito di ricoprimento, t_L ;
- tempo per il ritorno alla condizione di riposo delle apparecchiature tecnologiche t_{ISu} .

Gli addendi t_{ISe} , t_{vis} , e t_{avv} possono essere collettivamente definiti *tempo di approccio*, gli addendi t_p e t_L *tempo di occupazione*. Gli addendi che caratterizzano il tempo di bloccamento sono rappresentati schematicamente in Figura 1.

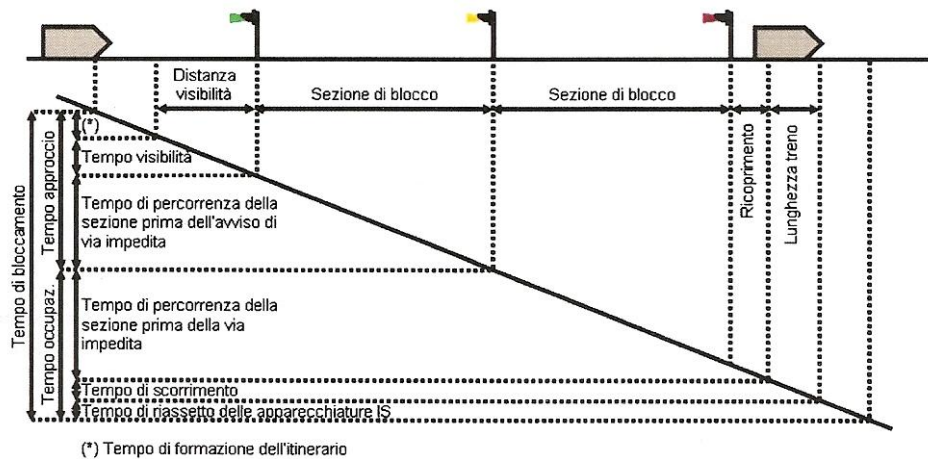


Figura 1: addendi del tempo di bloccamento [6]

La specifica di distanziamento sulla sezione in oggetto sarà pari al tempo di bloccamento della sezione per il treno di riferimento addizionata al *Margine di Regolarità*. Tale margine ha un significato completamente diverso rispetto agli *allungamenti di puntualità* inclusi nella traccia: gli *allungamenti* servono a recuperare perturbazioni della marcia dovute a cause endogene alla marcia del treno stesso, i margini servono a non propagare ad altre circolazioni le irregolarità che si causino nella marcia di un treno.

Le *specifiche di distanziamento* possono essere impostate secondo due criteri diversi [6].

1. In presenza di un sistema di segnalamento a sezioni lunghe, delimitate per lo più da località di servizio, con distanza non omogenea tra i Punti Orario, è possibile considerare il tempo effettivo di occupazione della sezione opportunamente incrementato, e dichiarare come specifica tecnica che il distanziamento è pari allo sblocco più il valore di incremento. Questo metodo richiede che ogni eventuale posto di blocco intermedio tra una località e l'altra sia un Punto Orario. Il valore di incremento dipende dal regime di blocco installato tra le due località. Tra località

tra le quali è installato BEM¹⁰ il valore di incremento è tipicamente di 3', mentre tra località collegate da BCA¹¹ tale valore si riduce a 2'.

2. In presenza di sistemi di segnalamento a sezioni relativamente più corte, si hanno più posti di blocco tra una località di servizio e l'altra e la trattazione di ciascuno di essi come Punto Orario diventerebbe poco pratica. In questi casi si impostano specifiche di distanziamento a tempo, dichiarando l'intervallo minimo ammesso tra treni successivi nella stessa direzione.

Per quel che riguarda le specifiche tecniche di distanziamento, recenti studi tecnico – scientifici [6] hanno dimostrato la validità dei valori storicamente utilizzati e hanno proposto una tabella riassuntiva dei valori di specifica da adottarsi su linee con BAcc¹² e sezioni concatenate, che riportiamo in Appendice A.

1.2.4 Specifiche tecniche di precedenza

Le *specifiche di precedenza* si distinguono in *specifiche di monte* e *di valle* dell'operazione di precedenza.

La *specifica di precedenza di monte* (o *di divergenza*) indica, per un determinato Punto Orario in cui si deve effettuare una precedenza da orario programmato, il tempo che deve intercorrere tra l'arrivo del primo treno (quello che cede il passo) e l'arrivo o il transito del secondo treno (quello che prende il passo). Si utilizza anche in arrivo alle località tra treni che proseguano su itinerari diversi. Sui tratti di linea per i quali si adottano i criteri di cui al caso 1 del paragrafo 1.2.3, la specifica è definita attribuendo un incremento maggiorato al tempo di sblocco (es.: "sblocco +4"). Il tempo di sblocco è riferito alla sezione precedente (appunto, *a monte*) rispetto al Punto Orario in cui viene effettuata l'operazione di precedenza. Ove si adottano invece i criteri di cui al caso 2 del paragrafo 1.2.3, viene indicata in termini temporali, dichiarando l'intervallo temporale minimo tra arrivo del primo treno e arrivo o transito del secondo treno.

La *specifica di precedenza di valle* (o *di convergenza*) indica, per un determinato Punto Orario in cui si deve effettuare una precedenza da orario programmato, il tempo che deve intercorrere tra la partenza o il transito del secondo treno (quello che prende il passo) e la partenza del primo treno (quello che cede il passo). Si utilizza anche per l'inoltro di treni

¹⁰ Blocco Elettrico Manuale.

¹¹ Blocco Conta Assi.

¹² Blocco Automatico a correnti codificate

su uno stesso binario di linea in provenienza da itinerari diversi. Sui tratti di linea per i quali si adottano i criteri di cui al caso 1 del paragrafo 1.2.3, come il tempo di sblocco a cui viene addizionato un incremento temporale in valore di minuti (es.: “sblocco +2’). Il tempo di sblocco è riferito alla sezione successiva (appunto, *a valle*) rispetto al Punto Orario in cui viene effettuata l’operazione di precedenza. Ove si adottano invece i criteri di cui al caso 2 del paragrafo 1.2.3, viene indicata in termini temporali, dichiarando l’intervallo temporale minimo tra partenza o transito del secondo treno e partenza del primo treno.

Esempio 1: Precedenza su linea con Bacc

Per un impianto A di una linea a doppio binario con regime di circolazione in BAcc sono definite le seguenti specifiche tecniche:

- *specificata di precedenza di monte*: 3’;
- *specificata di precedenza di valle*: 2’.

Si ipotizzi che il treno RVG1 nell’impianto A debba cedere il passo al treno IC1, in transito, secondo l’orario programmato. Se il transito in A per il treno IC1 è programmato per il minuto .20, per il treno RVG1 dovrà essere programmato l’arrivo in A entro e non oltre il minuto .17 ($20 - 3'$) e la partenza a partire dal minuto .22 ($20 + 2'$) in avanti.

Esempio 2: Precedenza su linea con BEM

Per una un impianto B di una linea con regime di circolazione in BEM sono definite le seguenti specifiche tecniche:

- *specificata di precedenza a monte*: sblocco + 3’;
- *specificata di precedenza a valle*: sblocco + 2’.

Per la sezione *a monte* di B si ipotizzi un tempo di bloccamento di 7’, mentre per la sezione *a valle* di B un tempo di bloccamento di 5’.

Si ipotizzi che il treno RVG2 nell’impianto B debba cedere il passo al treno IC2, in transito, secondo l’orario programmato. Se il transito in A per il treno IC2 è programmato per il minuto .20, per il treno RVG1 dovrà essere programmato l’arrivo in A entro e non oltre il minuto .10 ($20 - 7' - 3'$) e la partenza a partire dal minuto .27 ($20 + 5' + 2'$) in avanti.

1.2.5 Specifiche tecniche di incrocio

Le *specifiche tecniche d’incrocio* definiscono i tempi che devono intercorrere tra le operazioni fondamentali per effettuare un incrocio, cioè per l’inoltro di treni successivi con direzioni diverse su uno stesso binario di linea. Sono definiti quattro tempi di incrocio fondamentali.

- *Fra 1° treno in arrivo e 2° treno in arrivo in corretto tracciato (A/A)*. Definisce il tempo minimo (in minuti o semiminuti) che deve essere programmato in un Punto

Orario tra l'arrivo del 1° treno incrociante e l'arrivo del 2° treno incrociante nella località. Tale valore, in situazioni standard, vale 4' e può essere ridotto a 0' (ingressi contemporanei) ove la località di servizio sia caratterizzata da condizioni infrastrutturali che permettano movimenti di arrivo contemporanei dei treni dalle due tratte di linea limitrofe¹³.

- *Fra 1° treno in arrivo e 2° treno in transito (A/T)*. Definisce il tempo minimo (in minuti o semiminuti) che deve essere programmato in un Punto Orario tra l'arrivo del 1° treno incrociante e il transito del 2° treno incrociante senza fermata nella località. Tale valore, in situazioni standard, vale 3'.
- *Fra arrivo 2° treno e partenza 1° treno (A/P)*. Definisce il tempo minimo (in minuti o semiminuti) che deve essere programmato in un Punto Orario tra l'arrivo del 2° treno incrociante e la partenza del 1° treno incrociante nella località. Tale valore, in situazioni standard, vale 2' ed è riducibile ad 1' se il segnale di partenza non protegge passaggi a livello.
- *Fra 1° treno in partenza e 2° treno in partenza (verso opposto)*. Definisce il tempo minimo (in minuti o semiminuti) che deve essere programmato in un Punto Orario tra la partenza del 1° treno incrociante e la partenza del 2° treno incrociante nella località. Tale valore, in situazioni standard, vale 1' e può essere ridotto a 0' (partenze contemporanee) ove la località di servizio sia caratterizzata da condizioni infrastrutturali che permettano le partenze contemporanee.

Esempio 3: incrocio

Per una un impianto C di una linea a semplice binario con regime di circolazione BEM sono definite le seguenti *specifiche tecniche d'incrocio*:

- tempo d'incrocio A/A: 4'
- tempo d'incrocio A/T: 3'
- tempo d'incrocio A/P: 2'
- tempo d'incrocio P/P: 1'

Si ipotizzi che il treno RVG1 nell'impianto C debba incrociare il treno RVG2 secondo l'orario programmato. Se l'arrivo in C per il treno RVG2 è programmato per il minuto .30, per il treno RVG1 dovrà essere programmato l'arrivo in C entro e

¹³ Da disposizioni regolamentari, i requisiti di impianto richiesti sono l'assenza di percorsi di attraversamento a raso dei binari da parte dei viaggiatori e l'indipendenza di ferro tra gli itinerari di arrivo, comprese le loro prosecuzioni, oppure, in taluni casi, la loro convergenza ad almeno 100 metri oltre il segnale a via impedita (in pochi casi tale valore è diminuibile a 50 metri) [3].

non oltre il minuto .26 (30 – 4' per A/A); se a RVG2 è assegnato un tempo di fermata di 1', quindi con partenza a .31, per RVG1 potrà essere programmata la partenza almeno al minuto .32 (dato da .30 + 2' per A/P o da .31 + 1' per P/P). Procedure analoghe per incrocio con treno in transito.

1.2.6 Specifiche tecniche d'interferenza

Le *specifiche tecniche di interferenza* sono relative a movimenti configgenti unicamente all'interno di località di servizio. Le principali tipologie sono elencate di seguito:

- *Interferenza di taglio*: definisce il tempo minimo (in minuti o semiminuti) che deve essere programmato in un Punto Orario tra itinerari che richiedono l'utilizzo di uno stesso tratto di binario interno alla località di servizio;
- *Vincolo tra itinerari distinti*: definisce il tempo minimo (in minuti o semiminuti) che deve essere programmato in un Punto Orario tra due itinerari senza tratti di binario in comune ma che per vincoli regolamentari o di impianto non possono essere effettuati contemporaneamente (ad esempio, non può essere previsto il movimento di un treno su un binario che debba essere attraversato dai viaggiatori in discesa da un treno che effettua servizio su un altro binario, prima che si sia verificato il completamento dell'attraversamento);

Le specifiche di taglio dipendono dalla velocità di percorrenza del primo itinerario. In generale, salvo eccezioni relative a specifiche località, i valori di riferimento sono i seguenti:

- per deviate a 30 km/h la *specificata di interferenza* a seguito vale $Sp_{30} = 4$ min;
- per deviate a 60 o 100 km/h la *specificata di interferenza* a seguito vale $Sp_{60/100} = 3$ min;

Inoltre è necessario ricordare che, per ogni itinerario deviato, è necessario aggiungere un *allungamento tecnico* (cfr. 1.2.1) da assegnare alla percorrenza dei treni, secondo i seguenti criteri generali:

- per itinerari di arrivo da percorrersi alla velocità di 30 km/h l'allungamento tecnico è $All_{30}^A = 2$ min;
- per itinerari di partenza da percorrersi alla velocità di 30 km/h l'allungamento

tecnico è $All_{30}^P = 1,5'$ min;

- per itinerari di arrivo o partenza da percorrersi alla velocità di 60 km/h l'allungamento tecnico è $All_{60} = 0,5$ min;
- per itinerari di arrivo o partenza da percorrersi alla velocità di 100 km/h l'allungamento tecnico è $All_{100} = 0$ min.

1.3 Modello di esercizio ad orario cadenzato

Il metodo utilizzato è stato applicato alle linee afferenti il nodo di Milano, caratterizzate da un sistema d'offerta viaggiatori a orario cadenzato simmetrico¹⁴. Tale sistema prevede una ripetitività e una simmetria sull'asse dell'orologio 0-30 della sequenza e della tipologia di tracce. Si definiscono di seguito i concetti teorici principali [5] per comprendere un sistema d'offerta a orario cadenzato simmetrico, essenziali al fine del calcolo della capacità che, dipende strettamente dal modello di esercizio adottato.

1.3.1 Definizioni

Ogni orario cadenzato è caratterizzato da un *modulo*. Ogni modulo è caratterizzato da *tracce orarie* nelle due distinte direzioni e si ripete invariato nel corso della giornata per un periodo di tempo prestabilito. Le *tracce orarie* rappresentano il diagramma spazio – temporale che caratterizza l'offerta di trasporto. L'insieme dei moduli definisce la *griglia* di tracce cadenzate. In Figura 2 sono rappresentati graficamente i concetti di *modulo* e *griglia*, riferendosi a una linea a doppio binario.

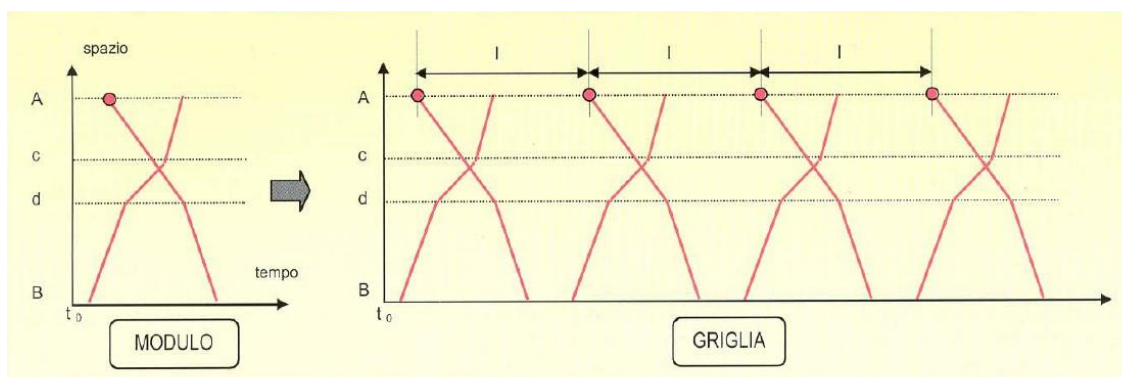


Figura 2: Rappresentazione dei concetti di "modulo e "griglia" [5]

¹⁴ Ad eccezione di alcuni sistemi di Lunga Percorrenza Trenitalia, con particolare riferimento al servizio Freccia Rossa, che, nell'orario attuale, è cadenzato ma non simmetrico.

In Figura 2 si nota inoltre che i moduli si ripetono in un intervallo I . Tale valore si definisce *intervallo base di cadenzamento*. Si definisce *struttura di cadenzamento* la posizione reciproca delle tracce tra le 2 diverse direzioni. È definibile come la distanza temporale tra una traccia e la successiva in corrispondenza di uno dei 2 terminali. Altri fattori necessari alla progettazione e alla descrizione di un orario cadenzato sono la *frequenza* dei passaggi (definita sempre in riferimento a un solo senso di marcia) e il *tempo di percorrenza* per la tratta o la linea analizzata riferito a una traccia tipo [5].

1.3.2 Il concetto di orologio

La ripetitività dei moduli nel sistema orario cadenzato determina una ripetitività degli orari, nell'arco della giornata, in cui i treni effettuano servizio viaggiatori nelle diverse località di una linea. In ogni fermata l'offerta è rappresentabile graficamente con un diagramma definito *orologio*. Tale diagramma indica, per ciascuna ora, i treni di passaggio dalla località nelle diverse direzioni. In Figura 3 vi è un esempio di tale diagramma [5].

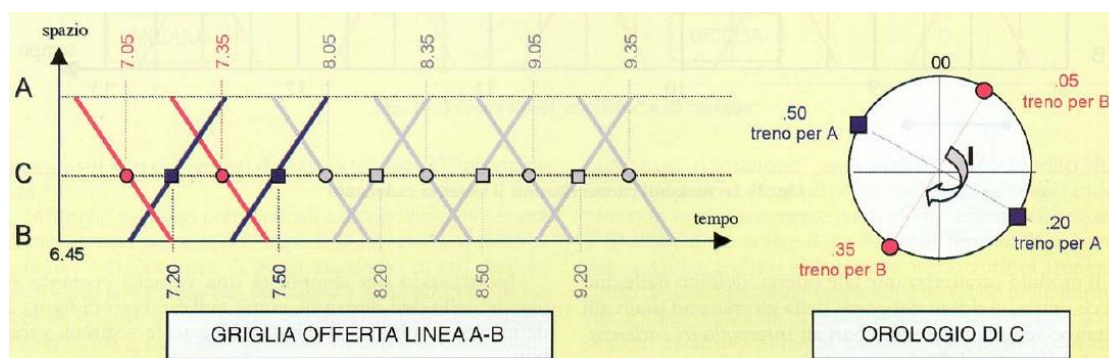


Figura 3: il concetto di "orologio" [5]

La griglia rappresenta l'offerta lungo l'intera linea, mentre l'orologio indica, per ciascuna fermata, gli orari di passaggio dei treni per ciascuna direzione.

1.3.3 Dominio delle soluzioni possibili

È possibile trovare il dominio delle soluzioni possibili variando le grandezze che rappresentano un sistema d'offerta a orario cadenzato, ovvero frequenza, tempo di percorrenza e struttura di cadenzamento. Vi possono essere due tipi di variazioni di sistema [5]:

1. Variazioni di geometria, ottenibili variando frequenza, tempo di percorrenza e

struttura di cadenzamento.

2. Variazioni di posizione, ovvero, traslazione rigida della griglia lungo l'asse temporale. Una volta definiti tempo di percorrenza, frequenza e struttura di cadenzamento, il sistema è univocamente definito, ma la griglia di tracce che lo rappresenta può ancora traslare rigidamente lungo l'ascissa temporale.

Consideriamo, come caso esemplificativo relativamente alle *variazioni di geometria*, una situazione nella quale le partenze e arrivi da e per A siano possibili ai minuti 0, 15, 30, 45, e un intervallo di cadenzamento orario. Le possibili configurazioni della griglia dell'offerta, al variare della geometria, in particolare la struttura di cadenzamento¹⁵, sono quattro e sono rappresentate in Figura 4.

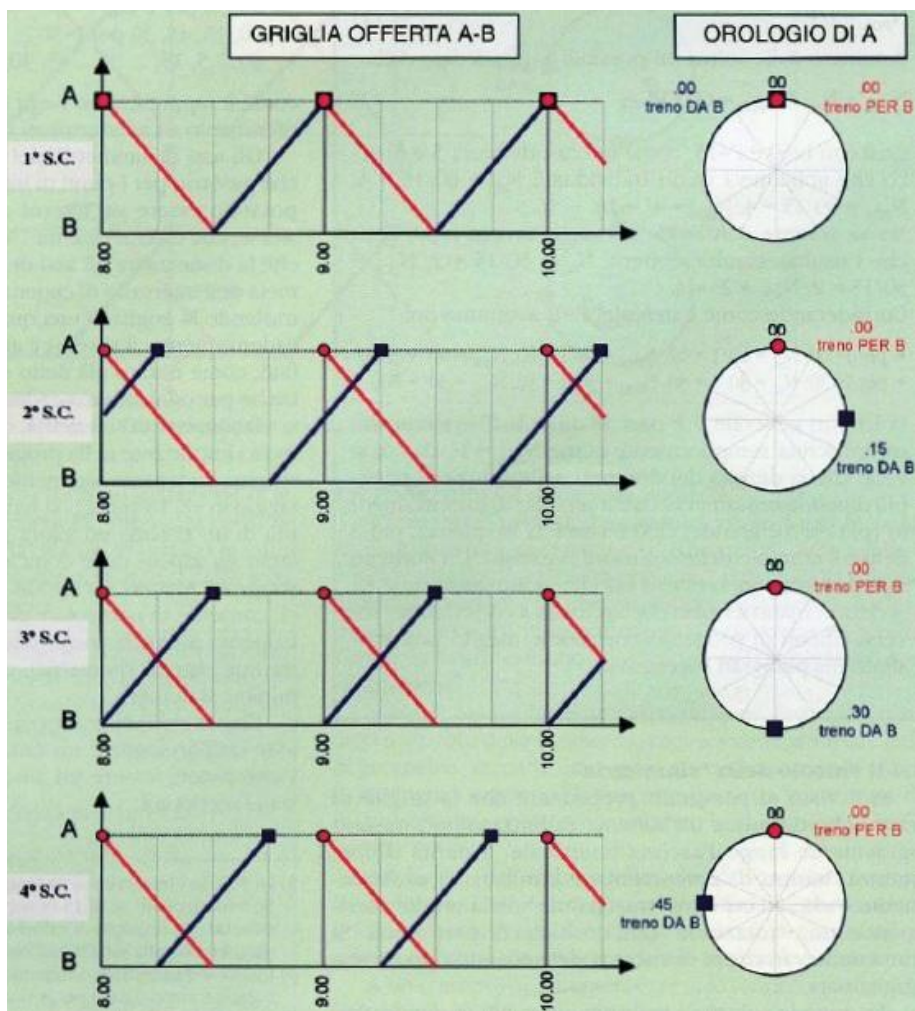


Figura 4: Possibili strutture di cadenzamento per l'esempio citato[5]

¹⁵ Tempo di percorrenza e frequenza sono considerate costanti nel caso esemplificativo citato.

Ricavandone un caso generale, ovvero una situazione in cui le partenze e gli arrivi da/per A siano possibili ad ogni minuto dell'intervallo di cadenzamento considerato e le frequenze possano essere diverse da quella oraria, il numero delle possibili strutture di cadenzamento associate al generico sistema è dato dall'equazione di seguito [5]:

$$N_{SC} = I/F \quad (5)$$

Dove:

- N_{SC} è il numero delle possibili strutture di cadenzamento;
- F [min] è la frazione di ora che intercorre tra i possibili minuti di partenza/arrivo da/per A (riferimento a Figura 4);
- I [min] è l'intervallo di cadenzamento.

Per il caso esemplificativo citato e rappresentato in Figura 4, infatti, risulta:

$I = 60$ min;

$F = 15$ min; da cui:

$N_{SC} = 4$.

In merito alle *variazioni di posizione* lungo l'ascissa temporale consideriamo sempre il caso esemplificativo nel quale partenze e arrivi da/per A siano possibili solo ai minuti 0, 15, 30, 45. Mantenendo stabile la geometria del sistema le possibili configurazioni ottenibili sono rappresentate in Figura 5:

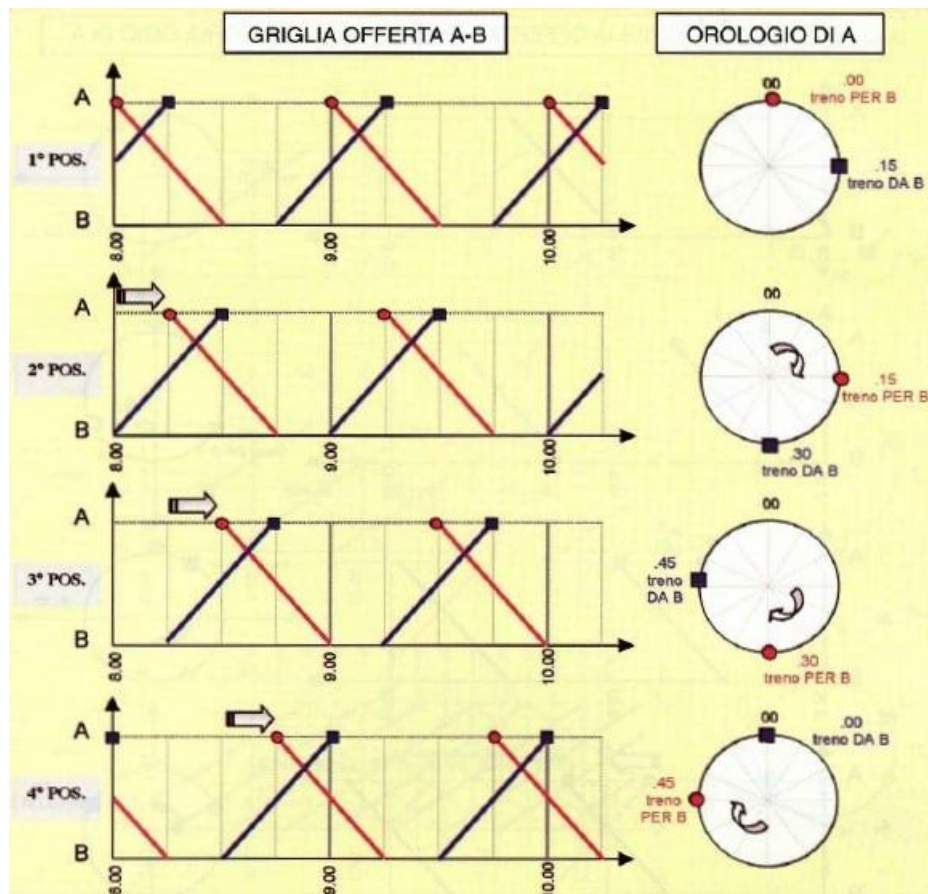


Figura 5: configurazioni possibili con traslazione della griglia lungo l'asse temporale [5]

Ricavandone un caso generale, ovvero una situazione in cui le partenze e gli arrivi da/per A siano possibili ad ogni minuto, il numero delle possibili posizioni lungo l'ascissa temporale associate al generico sistema è dato dall'equazione di seguito [5]:

$$N_{POS} = I/F \quad (6)$$

Dove:

- N_{POS} è il numero delle possibili posizioni lungo l'ascissa temporale;
- F [min] è la frazione di ora che intercorre tra i possibili minuti di partenza/arrivo da/per A (riferimento a Figura 5);
- I [min] è l'intervallo di cadenzamento.

Per il caso esemplificativo citato, infatti, risulta:

$I = 60$ min;

$F = 15$ min; da cui:

$N_{POS} = 4$.

Il numero delle soluzioni possibili (N_{SOL}) è dato da [5]:

$$N_{SOL} = N_{POS} \cdot N_{SC} \quad (7)$$

Da cui si ricava [5]:

$$N_{SOL} = (I/F)^2 \quad (8)$$

Per il caso esemplificativo, quindi, risulta:

$$N_{SOL} = (60/15)^2 = 16.$$

All'aumentare della frequenza per senso di marcia (con una conseguente diminuzione dell'intervallo di cadenzamento), diminuiscono le soluzioni possibili, mentre al diminuire della frazione di ora considerata indicante i possibili minuti di partenza/arrivo¹⁶ nella stazione di riferimento aumentano le soluzioni possibili.

1.3.4 Il concetto di simmetria

Come già presentato, la griglia di tracce che definisce un sistema cadenzato può traslare rigidamente nel tempo, a parità di frequenza, tempo di percorrenza e struttura di cadenzamento. Ad ogni traslazione corrisponde una rotazione dell'orologio della stessa entità. Tra tutte le soluzioni possibili, ve ne sono due definibili simmetriche rispetto all'asse 0-30 (o semplicemente *simmetriche*), ovvero quelle in cui l'asse di simmetria tra le tracce componenti il modulo coincide con l'asse dell'orologio. Tale concetto è espresso graficamente in Figura 6.

¹⁶ Tale valore tipicamente è di 1 min. Infatti le partenze/arrivi per una località possono essere impostate teoricamente a qualunque minuto di ciascun intervallo di cadenzamento.

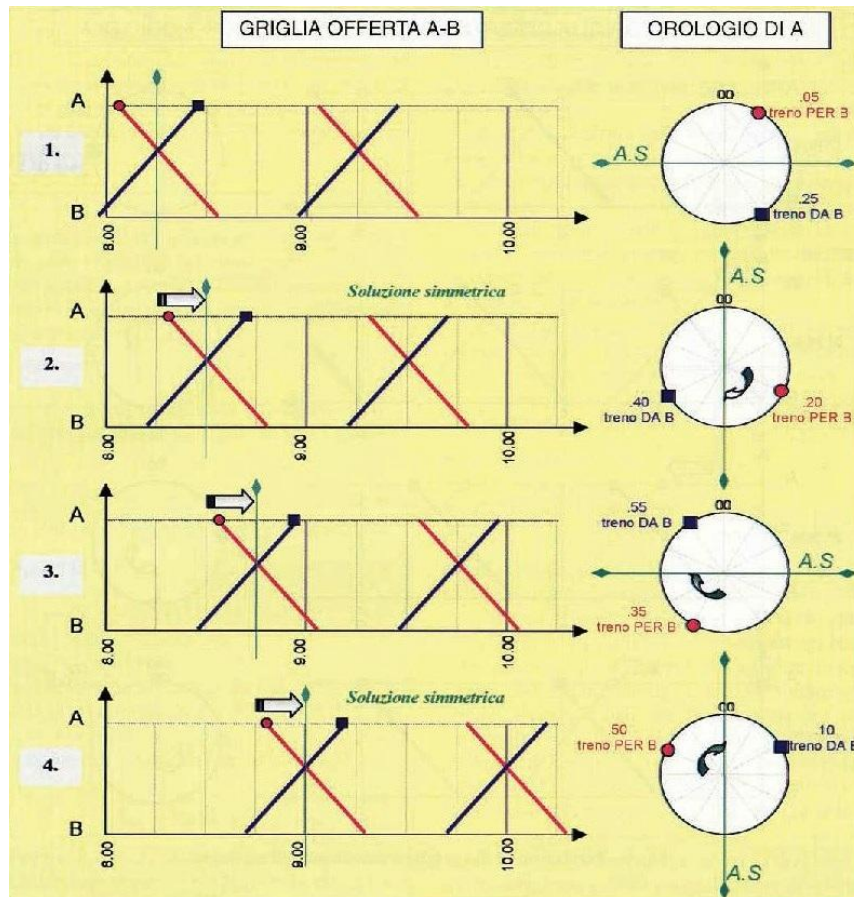


Figura 6: concetto di simmetria [5]. Solo le posizioni 2. e 4. sono simmetriche rispetto all'asse 0-30

Un sistema simmetrico si rivela vantaggioso quando si progettano sistemi di orario su linee diverse con punti di interscambio. Se tutti i sistemi che dialogano tra loro sono cadenzati e simmetrici si hanno vantaggi nel funzionamento delle corrispondenze¹⁷ e nella risoluzione dei conflitti. Se due sistemi simmetrici secondo il medesimo asse di simmetria sono in corrispondenza si realizzano le stesse possibilità di collegamento nelle due direzioni (pari e dispari) e, se si risolvono i conflitti tra due sistemi simmetrici, se ne riduce al minimo il numero. Il vincolo della simmetria però riduce il dominio delle soluzioni possibili. Si dimostra [5] che il numero di soluzioni possibili per un sistema di orario cadenzato simmetrico ($N_{SOL,simm}$) è dato dall'equazione:

$$N_{SOL,simm} = I/F \quad (9)$$

¹⁷ Si definisce *corrispondenza* in una località un'impostazione di orario tra treni diversi tale che è prevista la possibilità di interscambiare tra un treno ed altri. Quando, nel caso di un treno in ritardo, è consentito trattenere gli altri treni nella stazione per effettuare l'interscambio, si parla di *coincidenza*. La massima attesa ammessa per i treni che attendono il treno in ritardo è detta *comporto*. In altre parole, una coincidenza è una corrispondenza a comporto non nullo.

Riprendendo l'esempio citato al paragrafo 1.3.3, in tal caso le soluzioni simmetriche sarebbero (vedi anche Figura 6):

$$N_{SOL,simm} = 60/15 = 4$$

L'asse di simmetria è, per convenzione europea, quello passante per i minuti .00 e .30.

1.3.5 Vantaggi nell'adozione del modello di esercizio a orario cadenzato

L'adozione di un modello di esercizio a orario cadenzato simmetrico si rivela vantaggiosa su tre aspetti fondamentali riguardanti la pianificazione infrastrutturale e l'attrattività commerciale di un orario ferroviario:

- per migliorare l'integrazione tra i servizi e dunque la loro attrattività (con le coincidenze aumenta l'accessibilità spaziale, cioè il numero di relazioni servite a parità di frequenza)
- per ottimizzare i turni del materiale e dunque i costi di trasporto;
- per ottimizzare la capacità di una stazione di testa.

Dei tre aspetti citati si focalizza l'attenzione sul primo. I requisiti per l'integrazione tra servizi sono la *simmetria* e l'*addensamento di partenze e arrivi*. I sistemi che si mettono in coincidenza, infatti, devono avere lo stesso asse di simmetria (asse zero-trenta per convenzione europea). Gli orari di arrivo e partenza, inoltre, devono essere rispettivamente prima e dopo un minuto convenzionale (minuto zero o minuto trenta) e il più possibile addensati. In questo modo i tempi di attesa sono ridotti al minimo. In Figura 7 si riporta la griglia oraria e l'orologio di un nodo di interscambio ideale, in cui avviene l'interscambio tra una direttrice principale (A – B) e una direttrice secondaria (C – N).

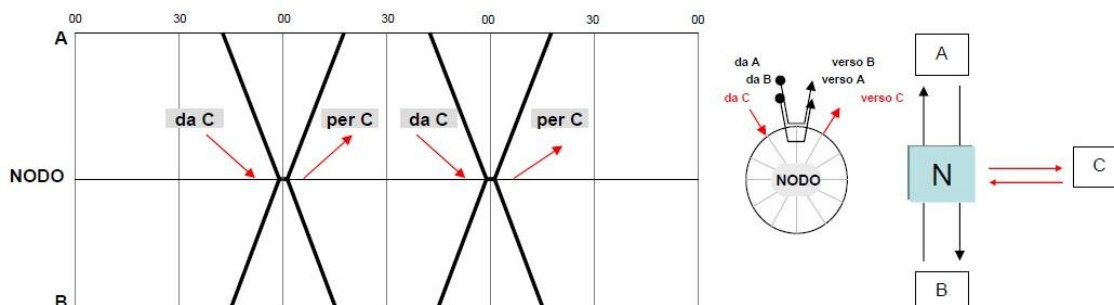


Figura 7: nodo di interscambio ideale [9]

Come si nota dall'analisi di Figura 7, grazie alla simmetria sull'asse .00 – .30 e all'addensamento attorno al minuto .00, è lo stesso materiale proveniente da C a garantire

tutte e quattro le coincidenze, sempre con lo stesso tempo di attesa: ad ogni ora il treno locale da C arriva e i viaggiatori possono proseguire sia sul treno diretto a B che sul treno diretto ad A; il treno diretto a C riparte dopo aver caricato i viaggiatori discesi dal treno proveniente da A e dal treno proveniente da B. In uno schema di questo tipo i tempi di attesa sono ridotti al minimo e il tempo di ribattuta dei treni locali è ridotto al minimo, massimizzando così l'efficacia e l'efficienza economica.

1.4 Il concetto di taglio

Un taglio, o interferenza a raso, si genera quando, nell'ambito di una stessa località di servizio, flussi diversi debbano percorrere uno stesso tratto di binario, pur non avendo in comune i punti di linea di ingresso e uscita dalla località.

In riferimento allo schema in Figura 8 [9], nel punto X si evidenzia un *taglio* tra flusso di traffico f (blu) proveniente da C e diretto verso B, e il flusso di traffico g (rosso), proveniente da A e diretto verso C, di direzione opposta a f , e il tratto in X non è utilizzabile contemporaneamente dai due flussi.

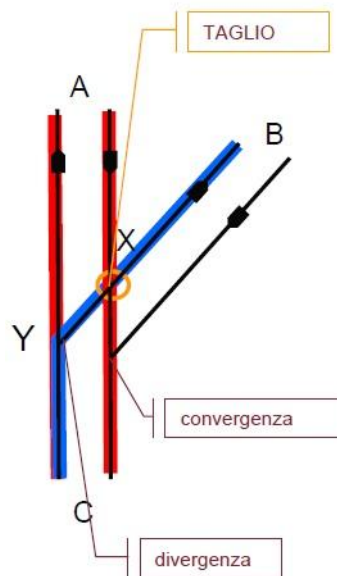


Figura 8: concetti di taglio, convergenza, divergenza [9]

Un punto della rete in cui avviene un taglio può essere percorso da treni con itinerario di corretto tracciato (caso del flusso g , rosso in Figura 8) o con itinerario deviato (caso del flusso f , blu in Figura 8). Secondo l'una o l'altra tipologia, il taglio ha un peso differente, in quanto l'itinerario percorso in corretto tracciato è in genere percorso ad una velocità

superiore di quello deviato, per cui il bloccamento del punto comune è più breve. In particolare, qualora la velocità massima ammessa per gli itinerari in percorso deviato sia di 30 km/h, sarà nettamente più gravosa l'effettuazione di un taglio in itinerario deviato che in corretto tracciato.

Capitolo 2: Modello di calcolo

I concetti teorici fondamentali che definiscono la capacità di una linea, citati nel capitolo precedente, vedono la loro applicazione nel modello di calcolo sviluppato per la determinazione del grado di utilizzazione della rete infrastrutturale. Nel capitolo che segue verrà descritto il modello di calcolo implementato, a partire dagli obiettivi prefissati, descrivendo, per ogni successivo passaggio, le ipotesi e i criteri adottati e presentando il metodo adottato per la determinazione della capacità su linee.

2.1 Obiettivi e finalità

Il modello per l'analisi della capacità infrastrutturale che si presenta si pone due obiettivi principali. Il primo è quello di determinare il grado di utilizzazione della rete, in fasce orarie *di punta* e *di morbida*, sia in relazione ai singoli tronchi di linea, sia in relazione a specifici punti di interferenza negli impianti. I dati d'ingresso per il modello di calcolo sono di tre tipologie: dati infrastrutturali, dati sui carichi di traffico, dati relativi al modello di esercizio. I dati in uscita sono il carico infrastrutturale delle linee analizzate e il peso relativizzato dei tagli. La situazione descritta dal modello è quella riferita a un giorno feriale tipo, con tutti i servizi circolanti, senza interruzioni infrastrutturali e/o di servizio.

2.2 Discretizzazione della rete

La rete interessata dall'analisi è stata discretizzata in *linee* (secondo la definizione di cui al paragrafo 1.1.1). Per ogni linea è stato definito il numero di binari (semplice binario o doppio binario). Qualora una linea abbia caratteristiche non omogenee per tutta la sua estensione in termini di numero di binari si è effettuata una ulteriore suddivisione della linea in *tratte* omogenee per numero di binari.

2.3 Dati di traffico

Fase importante del lavoro è stata la raccolta dei dati di traffico attuali sia per quel che riguarda i servizi passeggeri sia per i servizi merci. Si descrivono di seguito le scelte, le modalità e i criteri adottati per l'analisi e la raccolta dei dati di traffico.

2.3.1 Definizione delle fasce e delle frequenze

Sono state definite le fasce orarie *di punta* e *di morbida*, a seconda delle frequenze previste dei servizi. Si definiscono fasce *di punta* le fasce orarie comprese tra le 7:00 e le 9:00 e tra le 17:00 e le 20:00. Si definiscono fasce *di morbida* le fasce orarie comprese tra le 5:00 e le 7:00, tra le 9:00 e le 17:00 e tra le 20:00 e le 22:00. Tuttavia l'applicazione di tali definizioni non è rigida e l'intervallo di definizione può variare fino a circa 30' in anticipo o in ritardo rispetto ai valori di riferimento, a motivo dello svolgimento temporale delle tracce, per cui gli infittimenti di circolazione si hanno in orari non identici in prossimità dell'origine o del destino delle tracce. Per ogni categoria di servizio ferroviario considerata è stato ottimizzato l'ambito di applicazione di ciascuna definizione. La definizione delle fasce di punta (e, di conseguenza, di quelle di morbida) è basata sulle fasce orarie nelle quali è statisticamente evidente un incremento di frequenza per la quasi totalità dei servizi ferroviari. Le fasce di morbida della prima mattina (5:00 – 7:00) e della sera (20:00 – 22:00), come si noterà in seguito, saranno oggetto di approssimazioni in quanto non tutti i servizi ferroviari circolano e talvolta non seguono il modello di esercizio ad orario cadenzato.

Le frequenze che possono essere assegnate a ciascun servizio ferroviario devono essere definite per senso di marcia e, conformemente ai passi di infittimento di frequenza adottati nel modello di offerta lombardo, possono essere esclusivamente pari a 15' oppure 30', oppure 60', oppure 120', oltre al valore di frequenza nulla. Qualora un servizio ferroviario non sia cadenzato, si applica il valore che meglio approssima la frequenza media del servizio considerato, tendendo sempre a considerare il caso più gravoso per la rete (quindi tendendo al caso a frequenza più alta tra quelli intermedi). A ciascun valore definito di frequenza corrisponde un valore di corse orarie per senso di marcia. In particolare, alla frequenza di 120' è stato assegnato un valore di 1 corsa/h, alla frequenza di 60' corrisponde il valore di 1 corsa/h, alla frequenza di 30' corrisponde il valore di 2 corse/h, alla frequenza di 15' corrisponde il valore di 4 corse/h. Avendo assegnato il valore di 1 corsa/h anche a frequenze di 120', tenendo conto del fine ultimo dell'analisi, verrà assegnata talvolta una frequenza di 60' anche a servizi che potrebbero essere meglio descritti con un valore di frequenza di 120'. L'assegnazione di 1 corsa/h si giustifica considerando che la traccia di un treno, dovendo essere inserita in un sistema orario rigido come quello cadenzato simmetrico, anche qualora venga effettivamente utilizzata una

volta su 2, occupa lo stesso quantitativo di capacità infrastrutturale di sistema. Il motivo dell'applicazione rigida di questi valori di frequenza per senso di marcia risiede nel fatto che la rete afferente al nodo di Milano allargato è caratterizzata da modello di esercizio a orario cadenzato simmetrico (cfr. 1.3) con intervallo di cadenzamento $I = 60$ min. È possibile quindi descrivere ogni relazione esistente con una frequenza che sia divisore di $I = 60$ min. Non sono state considerate implementabili nel modello frequenze inferiori a 15', in quanto non esistono e non sono in previsione servizi ferroviari che abbiano una frequenza inferiore a tale valore.

2.3.2 Raccolta dei dati relativi ai servizi viaggiatori

È stata poi analizzata l'offerta commerciale delle imprese ferroviarie operanti su ciascuna tratta attraverso la consultazione dell'orario di servizio e dei moduli M53 di stazione. Per ogni servizio ferroviario considerato è stata definita una frequenza per senso di marcia, secondo i criteri di cui al paragrafo 2.3.1, per la fascia di punta e per la fascia di morbida. Esistono tuttavia casi nei quali l'incremento di frequenza è anticipato e/o posticipato rispetto alla definizione data di fasce di morbida e di punta. Caso per caso, quindi, si valuta se sia opportuno considerare l'eventuale incremento di frequenza rientrando nella fascia di punta, rispettando il margine di $\pm 30'$ definito, o se considerare la relazione con frequenza maggiore anche per le fasce di morbida. I servizi *spot*¹⁸, ove essi siano molto sporadici ed evidentemente fuori dal sistema orario cadenzato simmetrico, non sono stati inclusi in alcun servizio ferroviario tra quelli considerati. Ogni eccezione a tali criteri generali è stata definita e giustificata nell'ambito di ciascun servizio ferroviario considerato.

Per ogni servizio ferroviario sono state individuate le tratte percorse sull'infrastruttura analizzata e gli itinerari di stazione coinvolti. Ove non è stato possibile determinare tali dati dall'orario di servizio o dai moduli M53 di stazione, il riferimento è stato il portale <http://picweb.rfi.it>.

Da tale analisi è stato possibile determinare anche l'ubicazione dei tagli generati d'orario sull'infrastruttura dovuti all'interazione reciproca tra i vari servizi ferroviari. Ad ogni punto di taglio si è assegnata, per ogni servizio ferroviario, la modalità di percorrenza (itinerario deviato o itinerario di corretto tracciato).

¹⁸ Per servizi *spot* si intendono relazioni sporadiche di rinforzo, non inserite nella griglia di cadenzamento, generalmente presenti solo in orari di punta, atte a soddisfare i picchi di domanda fortemente concentrati.

Qualora una medesima relazione percorra, da orario programmato, linee o itinerari di stazione diversi in orari differenti, essa è stata divisa in 2 sotto-relazioni a frequenza dimezzata rispetto alla relazione d'origine e, a ciascuna, è stato assegnato il proprio percorso.

2.3.3 Raccolta dei dati relativi ai servizi merci

Al fine del calcolo della capacità residua è stato necessario individuare il carico dovuto ai servizi merci lungo le linee. Tale analisi si compone di diversi passaggi che vengono descritti e analizzati nei paragrafi di seguito. L'analisi nel dettaglio che si descrive è stata svolta unicamente per le tratte della rete analizzata considerate esterne al nodo di Milano. Nel nodo di Milano, infatti, vi sono solo 2 località O/D per i servizi merci (Milano Smistamento e Milano Certosa) ed è complesso e poco affidabile suddividere le linee del nodo secondo il metodo delle tratte omologhe descritto. Conviene pertanto considerare le linee del nodo successivamente all'analisi di quelle esterne al nodo, adottando le ipotesi e approssimazioni successivamente descritte.

2.3.3.1 Definizione tratte omologhe

Operazione preliminare al lavoro di analisi è stata la definizione delle *tratte omologhe*. Le *tratte omologhe* sono definite come tratte delimitate da località di diramazione o da località O/D per i servizi merci. Per ciascuna tratta è stata definita una *località campione*, intermedia alla tratta omologa considerata. Qualora una tratta omologa non presenti località intermedie, è stata considerata, come *località campione*, una delle due località che la delimitano. Per la rete interna al nodo di Milano sono state analizzate unicamente, ai fini della trattazione, le località O/D di Milano Smistamento e Milano Certosa.

2.3.3.2 Raccolta e conteggio dati

Si è proceduto poi alla raccolta dei dati sui servizi merci circolati. Sono stati scaricati dal portale <http://picweb.rfi.it> i prospetti di stazione (in formato .xls, visualizzabile quindi attraverso il software Microsoft Excel) di ciascuna località O/D per servizi merci e di ciascuna località campione definita per ogni tratta omologa per un periodo di riferimento, ovvero dal 12/03/2012 al 17/03/2012. Tale periodo si considera significativamente descrittivo del massimo carico merci sulla rete in quanto comprende tutti i giorni di una settimana in un periodo dell'anno che si ritiene non presenti grosse limitazioni di servizio

dovute a ridotta attività produttiva.

Con l'ausilio di un file filtro creato attraverso il software Microsoft Excel, sono stati filtrati, per ciascun prospetto, i servizi merci, considerando come tali anche le categorie INV, IVP, NCL, LIS¹⁹ e tutte le categorie di treno che non effettuano servizio viaggiatori. Attraverso lo stesso file si è proceduto, per ogni prospetto e sempre in riferimento ai soli servizi merci, con il conteggio di transiti e attestamenti per ogni direzione (pari, dispari e diramazioni), per ciascuna delle seguenti fasce orarie:

- 6:30 – 9:30;
- 9:30 – 19:30;
- 19:30 – 6:30.

La prima fascia è stata definita per evidenziare la presenza di servizi merci in un orario di punta anche per i servizi viaggiatori. La seconda fascia descrive l'andamento dei servizi merci nell'arco diurno e la terza nell'arco notturno. Gli orari di suddivisione tra le fasce sono stati definiti basandosi sugli orari nei quali è statisticamente evidente un cambiamento di frequenza di servizi merci per la quasi totalità delle linee. Ciascun giorno è stato considerato inizi con la prima fascia, ovvero 6:30 – 9:30. I treni transitanti o attestati nella fascia 0:00 – 6:30 vengono conteggiati nella terza fascia del giorno precedente.

2.3.3.3 *Definizione giorno tipo di massimo carico*

I dati conteggiati secondo i criteri di cui al paragrafo 2.3.3.2 sono stati inseriti in un file di Microsoft Excel. Nel foglio di calcolo, ad ogni località sono associati i propri dati in riferimento a attestamenti e transiti per ogni direzione, suddivisi per giorno della settimana e fasce orarie. Da questi dati si è calcolato, per ciascun giorno della settimana considerata, il numero totale giornaliero di treni transitanti su ciascuna tratta omologa e in attestamento per ciascuna località O/D, suddivisi per direzione, sommando i dati relativi a ciascun giorno. Il valore è definito come segue:

¹⁹ INV: invio materiale viaggiatori; IVP: invio materiale viaggiatori per lunghe percorrenze; NCL: non classificato (es. di casi classificati come tali: treni di RFI per la diagnostica dell'infrastruttura; treni di NTV in prova); LIS: locomotiva isolata.

$$T_{h,i,k} = \sum_{j=1}^J N_{h,i,j,k} \quad (10)$$

Dove:

- $T_{h,i,k}$ è il carico totale di treni transitanti o di attestamenti per la tratta omologa (o località O/D) i -esima, nel giorno h -esimo e nella direzione k -esima;
- $N_{h,i,j,k}$ è il numero di treni transitanti o di attestamenti per la tratta omologa (o località O/D) i -esima, nel giorno h -esimo, nella fascia oraria j -esima e nella direzione k -esima, derivante dal conteggio di cui al paragrafo 2.3.3.2;
- J è il numero di fasce orarie j .

Si calcola indi lo stesso valore comprensivo di tutte le direzioni. Il valore è definito come segue:

$$T_{h,i} = \sum_{k=1}^K T_{h,i,k} \quad (11)$$

Dove:

- $T_{h,i}$ è il carico totale di treni transitanti o di attestamenti per la tratta omologa (o località O/D) i -esima e nel giorno h -esimo;
- $T_{h,i,k}$ è il carico totale di treni transitanti o di attestamenti per la tratta omologa (o località O/D) i -esima, nel giorno h -esimo e nella direzione k -esima;
- K è il numero delle direzioni k per la tratta omologa (o località O/D).

L'algoritmo, in parallelo, calcola, per ciascun giorno della settimana, per ciascuna fascia oraria e per ciascuna tratta omologa o località, il carico orario per direzione, secondo l'equazione che segue.

$$C_{h,i,j,k} = N_{h,i,j,k} / F_j \quad (12)$$

Dove:

- $C_{h,i,j,k}$ [treni/h] è il carico orario di treni transitanti o di attestamenti per la tratta omologa (o località O/D) i -esima, nel giorno h -esimo, nella fascia oraria j -esima e nella direzione k -esima;
- $N_{h,i,j,k}$ è il numero di treni transitanti o di attestamenti per la tratta omologa (o località O/D) i -esima, nel giorno h -esimo, nella fascia oraria j -esima e nella direzione k -esima, derivante dal conteggio di cui al paragrafo 2.3.3.2;
- F_j [h] è l'estensione temporale della fascia oraria j -esima.

Si calcola inoltre, per ciascun giorno della settimana, per ciascuna fascia oraria e per ciascuna tratta omologa o località O/D, il carico orario totale, comprensivo di tutte le direzioni, secondo l'equazione che segue.

$$C_{h,i,j} = \frac{\sum_{k=1}^K N_{h,i,j,k}}{F_j} \quad (13)$$

Dove:

- $C_{h,i,j}$ [treni/h] è il carico orario di treni transitanti o di attestamenti per la tratta omologa (o località O/D) i -esima, nel giorno h -esimo, nella fascia oraria j -esima;
- $N_{h,i,j,k}$ è il numero di treni transitanti o di attestamenti per la tratta omologa (o località O/D) i -esima, nella fascia oraria j -esima e nella direzione k -esima, derivante dal conteggio di cui al paragrafo 2.3.3.2;
- K è il numero delle direzioni k per la tratta omologa (o località O/D).
- F_j [h] è l'estensione temporale della fascia oraria j -esima.

È stato quindi individuato il giorno di massimo carico per ogni tratta omologa e per ogni località O/D. Il giorno di massimo carico è identificato da uno dei sette giorni della settimana (basandosi sui dati analizzati relativi alla settimana tipo). La scelta del giorno di massimo carico è basata sui criteri definiti nel seguito e elencati per ordine di importanza. L'adozione o l'ausilio, per la scelta, di ogni criterio successivo per ordine di importanza, deve essere effettuata solo qualora il precedente (o i precedenti) non definiscano in maniera univoca il giorno di massimo carico. Si elencano di seguito i criteri di scelta, per ordine di importanza:

1. giorno in cui vale che $T_{hmax,i} = \max_h(T_{h,i})$; il primo criterio si basa sulla massimizzazione del carico totale rispetto a tutti i giorni della settimana, in quanto è il valore che grava sulla rete in termini di numero effettivo di treni;
2. giorno in cui vale che $C_{hmax,i,j,k} = \max_h(C_{h,i,j,k})$; altro criterio fondamentale, seppur secondariamente al precedente, è la massimizzazione del carico orario, in quanto esso è il valore che determina la possibilità di inserimento di ulteriori tracce nel reticolo del sistema orario cadenzato simmetrico;
3. omogeneità con tratte omologhe o stazioni O/D attigue; questo criterio di scelta, di secondaria importanza, è stato utilizzato per i casi dubbi: qualora i precedenti criteri non siano sufficienti per evidenziare univocamente un giorno di massimo carico si può effettuare la scelta basandosi sull'omogeneità con tratte o località O/D attigue, garantendo la continuità tra tratte e località O/D attigue.

Il giorno di massimo carico, qualora non fosse definibile in maniera univoca, può essere definito anche da un massimo di due giorni, o da un intervallo delimitato da due giorni, ove tutte le situazioni presentino la medesima identica situazione di carico.

2.3.3.4 *Rappresentazione dei carichi merci*

I dati analizzati sono stati rappresentati in schemi grafici riportati nelle tavole in allegato. In TAVOLA1 è rappresentata la suddivisione in tratte omologhe e la definizione delle località campione e delle località O/D per i servizi merci.

In TAVOLA2 sono riportati i dati di carico per i servizi merci. In particolare, i dati riportati, per ciascuna tratta omologa sono:

- il giorno di massimo carico;
- il valore complessivo dei treni giornalieri che caricano la tratta omologa ($T_{hmax,i}$) per il giorno di massimo carico;
- i valori di carico orario $C_{hmax,i,j} = \max_h(C_{h,i,j})$ [treni/ora] (in valori approssimati alla seconda cifra decimale) complessivi di tutte le direzioni per ciascuna fascia oraria, riferiti al giorno di massimo carico.

Nella stessa tavola sono riportate, per ciascuna località O/D, gli stessi dati, suddivisi però per partenze e arrivi.

In TAVOLA3 sono riportati gli stessi dati con valori di carico orario $C_{hmax,i,j}$ [treni/ora] approssimati all'intero superiore e con le colorazioni in scala cromatica delle tratte o delle località secondo il valore di $C_{hmax,i,j}$ [treni/ora]. L'approssimazione all'intero superiore è dovuta al fatto che un treno caricante una tratta omologa non è misurabile in frazione decimale, ma in un intero. In particolare l'intero scelto è sempre quello superiore in quanto una frazione decimale di treno identifica ugualmente la possibile presenza di una traccia oraria in più nella fascia analizzata, e tale traccia va considerata nella sua interezza. In questa tavola la percezione visiva del grado di carico orario è agevolata dall'utilizzo di gradazioni cromatiche differenti per ciascuna linea e per ciascuna località O/D. La definizione entro cui rientra ogni gradazione cromatica è definita in legenda.

Il lavoro di analisi successivo dei servizi merci è stato condotto sulla base dei dati descritti in TAVOLA3.

2.3.3.5 *Individuazione e pesatura delle relazioni merci*

Si è proceduto quindi all'individuazione delle relazioni merci circolanti sulla rete. I calcoli, le analisi e le verifiche che si descrivono in seguito sono state effettuate con l'ausilio di un foglio di lavoro di Microsoft Excel.

Dall'analisi dei prospetti di stazione di ciascuna località O/D o località di confine per la rete analizzata, considerate nel giorno di massimo carico, sono state elencate tutte le relazioni merci transitanti o in attestamento. Le relazioni merci con origine o destinazione esterna alla rete analizzata sono state considerate come limitate alle località di confine. Ad ogni relazione merci individuata è stato assegnato un *valore di incidenza* in termini di treni/giorno, derivante dal conteggio, sul prospetto di stazione in analisi, del ripetersi della relazione merci considerata, complessiva dei due sensi di marcia (pari e dispari), nel giorno di massimo carico. Qualora per le località O/D di una stessa relazione merci fossero definiti diversi giorni di massimo carico, per la stessa relazione merci occorre effettuare il conteggio del valore di incidenza su entrambi i prospetti di stazione e considerare valido il valore superiore.

I valori di incidenza di ciascuna relazione merci, per come sono stati definiti, sono stati raggruppati in un vettore, il vettore \mathbf{a} , dei valori di incidenza, definito di seguito:

$$\mathbf{a} = (a_1 \quad a_2 \quad \dots \quad a_F) \quad (14)$$

Dove:

- $a_1 \dots a_F$ sono i valori di incidenza dell' f -esima relazione merci;
- F è il numero delle f -esime relazioni merci.

Si definisce poi la matrice delle percorrenze \mathbf{B} , che identifica il legame tra le relazioni merci f -esime definite e le tratte omologhe i -esime (secondo la definizione di cui al 2.3.3.1) che ciascuna relazione merci percorre:

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} b_{1,1} & b_{1,2} & \dots & b_{1,F} \\ b_{2,1} & b_{2,2} & \dots & b_{2,F} \\ \vdots & & & \\ b_{I,1} & b_{I,2} & \dots & b_{I,F} \end{pmatrix} \quad (15)$$

dove, ad ogni elemento $b_{i,f}$ viene associato il valore di:

- 1, se la relazione merci f -esima percorre la tratta omologa i -esima;
- 0, se la relazione merci f -esima non percorre la tratta omologa i -esima.

Si definisce poi la matrice delle percorrenze pesate \mathbf{C} , che identifica il valore di incidenza di ciascuna relazione merci f -esima (definiti secondo i criteri descritti per gli elementi del vettore \mathbf{a}) su ciascuna tratta omologa i -esima percorsa dalla relazione merci. La matrice è definita come:

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} c_{1,1} & c_{1,2} & \dots & c_{1,F} \\ c_{2,1} & c_{2,2} & \dots & c_{2,F} \\ \vdots & & & \\ c_{I,1} & c_{I,2} & \dots & c_{I,F} \end{pmatrix} \quad (16)$$

Gli elementi $c_{i,f}$ che la compongono sono dati da:

$$c_{i,f} = a_f \cdot b_{i,f} \quad (17)$$

Si definisce quindi il vettore dei carichi \mathbf{p} , i cui elementi p_i rappresentano il carico dovuto a tutte le relazioni merci che percorrono ciascuna tratta omologa i -esima.

$$\mathbf{p} = (p_1 \quad p_2 \quad \dots \quad p_I) \quad (18)$$

Il carico p_i si determina attraverso l'equazione:

$$p_i = \sum_{f=1}^F c_{i,f} \quad (19)$$

Tale valore è utile al fine di effettuare una prima verifica sull'esattezza dei valori di incidenza (definiti secondo i criteri descritti per gli elementi del vettore \mathbf{a}) assegnati alle relazioni merci. Il valore p_i calcolato attraverso l'equazione (19), infatti, deve essere uguale o prossimo al valore complessivo dei treni giornalieri che caricano la tratta omologa ($T_{hmax,i}$) per il giorno di massimo carico, risultante dall'analisi descritta al punto 2.3.3.3 e riportato in TAVOLA3.

Infine, si introduce la matrice \mathbf{D} , del peso relativo di ciascuna relazione merci f -esima definita su ciascuna tratta omologa i -esima percorsa:

$$\mathbf{D} = \begin{pmatrix} d_{1,1} & d_{1,2} & \dots & d_{1,F} \\ d_{2,1} & d_{2,2} & \dots & d_{2,F} \\ \vdots & & & \\ d_{I,1} & d_{I,2} & \dots & d_{I,F} \end{pmatrix} \quad (20)$$

Gli elementi $d_{i,f}$ che la compongono rappresentano il peso relativo della relazione merci f -esima sulla tratta omologa i -esima e sono dati da:

$$d_{i,f} = \frac{c_{i,f}}{p_i} \quad (21)$$

Dove:

- p_i è il carico di tutte le relazioni merci gravanti sulla tratta omologa i -esima, derivante dall'equazione (19); ovviamente, ogni valore della matrice ha un valore compreso tra 0 ed 1;

2.3.3.6 Assegnazione frequenze alle relazioni merci

Il modello utilizzato nel presente approfondimento richiede la conoscenza delle frequenze dei servizi nelle fasce orarie di morbida e di punta, per i servizi viaggiatori, secondo le delimitazioni di cui al paragrafo 2.3.1, che sono diverse dalle fasce di analisi definite per i servizi merci, di cui al paragrafo 2.3.3.2. Le fasce definite per lo studio dei servizi merci sono significative in quanto descrittive della variabilità del traffico merci ai fini del carico all'infrastruttura, ma non si interfacciano direttamente con le delimitazioni adottate per il funzionamento del modello di calcolo.

Per ciascuna delle due fasce orarie merci j -esime associate solo al periodo diurno, vengono definite le matrici $\mathbf{E}(\mathbf{j}, \mathbf{k})$ delle frequenze pesate di ciascuna relazione merci, per ciascuna delle due direzioni k -esime pari e dispari. Le matrici sono definite come segue:

$$\mathbf{E}(\mathbf{j}, \mathbf{k}) = \begin{pmatrix} e_{1,1}(j, k) & e_{1,2}(j, k) & \dots & e_{1,F}(j, k) \\ e_{2,1}(j, k) & e_{2,2}(j, k) & \dots & e_{2,F}(j, k) \\ \vdots & & & \\ e_{I,1}(j, k) & e_{I,2}(j, k) & \dots & e_{I,F}(j, k) \end{pmatrix} \quad (22)$$

Gli elementi $e_{i,f}(j, k)$ che le compongono rappresentano il carico orario pesato per la relazione merci f -esima sulla tratta omologa i -esima nella fascia oraria j -esima e nella direzione k -esima e sono dati da:

$$e_{i,f}(j, k) = \frac{N_{h,i,j,k} \cdot d_{i,f}}{F_j} \quad (23)$$

Dove:

- $N_{h,i,j,k}$ è il numero di treni merci transitanti o di attestamenti merci per la tratta omologa (o località O/D) i -esima, nella fascia oraria j -esima (delle sole due fasce riferite al periodo diurno) e nella direzione k -esima (direzioni pari e dispari), derivante dal conteggio di cui al paragrafo 2.3.3.2;
- $d_{i,f}$ è il peso relativo della relazione merci f -esima sulla tratta omologa i -esima
- F_j [h] è l'estensione temporale della fascia oraria j -esima (delle sole due fasce riferite al periodo diurno).

Per ciascuna relazione merci f -esima, in riferimento alla fascia oraria j -esima (delle sole due fasce riferite al periodo diurno) e alla direzione k -esima (direzioni pari e dispari), si determina quindi il carico orario massimo che tale relazione merci presenta sull'intero suo percorso, tra tutti i valori espressi dagli elementi delle matrici definite al punto (23), mediante l'equazione:

$$e_{f,j,k} = \max_i(e_{i,f}(j,k)) \quad (24)$$

Il carico orario da assegnare a ciascuna relazione merci f -esima in ciascuna fascia oraria j -esima (delle sole fasce riferite al periodo diurno) è dato dal massimo carico orario individuato fra i due sensi di marcia, (P : pari, D :dispari) tra tutti quelli definiti al punto precedente. L'equazione che realizza tale operazione è la seguente:

$$e_{f,j} = \max(e_{f,j,P}; e_{f,j,D}) \quad (25)$$

Il valore ottenuto rappresenta il carico orario per senso di marcia da assegnare a ciascuna relazione merci definita al punto 2.3.3.5 secondo le fasce orarie definite al punto 2.3.3.2. Tuttavia, la base di calcolo, intesa come fascia oraria, dalla quale perviene questo valore non corrisponde con quanto alla base dei criteri di cui al punto 2.3.1., per cui è necessario provvedere ad un'ulteriore trasformazione, per determinare le frequenze di ciascuna relazione merci f -esima in relazione alle fasce orarie di cui al punto 2.3.1. Dette *fascia1* e *fascia2* le due fasce orarie diurno secondo il paragrafo 2.3.3.2, i valori corrispondenti per le fasce di punta e di morbida di cui al punto 2.3.1 sono:

$$C_f(\text{punta}) = 2/3 \cdot e_{f,\text{fascia1}} + 3/10 \cdot e_{f,\text{fascia2}} \quad (26)$$

$$C_f(\text{morbida}) = 1/6 \cdot e_{f,\text{fascia1}} + 7/10 \cdot e_{f,\text{fascia2}} \quad (27)$$

Le fasce di punta, infatti, in riferimento all'equazione (26), sono definite dalle 7:00 alle 9:00 e dalle 17:00 alle 20:00; esse includono i 2/3 della prima fascia oraria riferita ai servizi merci (6:30 – 9:30) e i 3/10 della seconda fascia oraria riferita ai servizi merci (9:30 – 19:30). Viene adottata una semplificazione, ovvero non si considera la componente del carico merci riferito alla terza fascia merci, che graverebbe sull'ultima mezz'ora della seconda fascia di punta. Si ritiene che, visto il ridotto arco temporale che essa ricopre e vista la definizione non rigida della fasce di punta e di morbida (cfr. 2.3.1), la componente del carico riferito alla terza fascia merci possa essere trascurabile.

Per le fasce di morbida, invece, in riferimento all'equazione (27), si adotta una semplificazione, ovvero si considera solo la fascia di morbida definita dalle 9:00 alle 17, in quanto è quella maggiormente descrittiva dell'andamento del traffico in morbida, in cui tutti i servizi passeggeri sono circolanti e la quasi totalità di essi è caratterizzata da orario secondo il modello cadenzato, caratteristiche non sempre applicabili alle altre due fasce definite come di morbida. La fascia considerata include 1/6 della prima fascia oraria riferita ai servizi merci (6:30 – 9:30) e i 7/10 della seconda fascia oraria riferita ai servizi merci (9:30 – 19:30).

Determinato quindi il carico orario per senso di marcia in punta e in morbida di ciascuna

relazione merci, si può determinare la frequenza teorica per senso di marcia [min] della relazione merci f -esima, applicando le equazioni:

$$f_f(punta) = \frac{1}{C_f(punta)} \cdot 60 \quad (28)$$

$$f_f(morbida) = \frac{1}{C_f(morbida)} \cdot 60 \quad (29)$$

Esse derivano dalla definizione di frequenza. Sono denominate frequenze *teoriche* (per senso di marcia, per ciascuna relazione merci f -esima, per fasce di morbida e fasce di punta) in quanto presentano valori in generi non interi e comunque non riconducibili ai valori significativi per i sistemi di offerta cadenzati.

Le relazioni merci definite al punto precedente sono tutte quelle caratterizzanti il nodo di Milano allargato. Alcune relazioni merci sono coppie saltuarie di treni, effettuate solo una volta alla settimana. Altre relazioni merci sono coppie giornaliere. Altre, invece, sono relazioni forti con un carico orario e un valore di incidenza alto ogni giorno della settimana. Per l'implementazione occorre quindi accorpate le relazioni merci minori a relazioni merci maggiori e assegnare frequenze per senso di marcia che siano riconducibili a valori significativi secondo le definizioni di cui al paragrafo 2.3.1, cioè 120', 60', 30', 15'.

A partire dalle frequenze teoriche per senso di marcia $f_{f,g}$ (dove g è l'indice delle fasce orarie di punta e di morbida utili all'implementazione del modello di calcolo), l'algoritmo restituisce, per ogni relazione merci, per ciascun caso di fasce di morbida e di punta, un valore di frequenza per senso di marcia di prima assegnazione, secondo i seguenti criteri:

- $f'_{f,g} = 0'$ se $f_{f,g} > 300'$ o se $f_{f,g} = 0'$;
- $f'_{f,g} = 120'$ se $120' < f_{f,g} < 300'$;
- $f'_{f,g} = 60'$ se $60' < f_{f,g} < 120'$;
- $f'_{f,g} = 30'$ se $30' < f_{f,g} < 60'$;
- $f'_{f,g} = 15'$ se $f_{f,g} < 30'$.

Le frequenze per senso di marcia di prima assegnazione, per come sono definite, effettuano una maggiorazione sul valore della frequenza teorica e lo riportano all'intero superiore (in termini di frequenza) implementabile dal modello. Le relazioni merci con frequenza teorica per senso di marcia superiore a 300' sono state considerate, dai criteri

sopraindicati, a frequenza nulla. Il carico di tali relazioni merci dovrà essere considerato, nei passaggi successivi, in accorpamento alle relazioni merci reali che saranno definite.

2.3.3.7 Relazioni e frequenze assegnate

L'accorpamento delle relazioni merci e l'assegnazione delle frequenze per senso di marcia deve comunque essere coerente col carico della rete secondo la rappresentazione di cui al punto 2.3.3.4. Rispetto alle frequenze di prima assegnazione di cui al punto precedente, è pertanto necessario provvedere ad una normalizzazione.

Per ciascuna tratta omologa i -esima si calcola il carico orario totale dovuto a tutte le relazioni merci che vi sono definite, per ciascuna fascia oraria merci j -esima (delle sole due fasce riferite al periodo diurno) e per ciascuna direzione k -esima (direzioni pari e dispari):

$$e_{i,j,k} = \sum_{f=1}^F e_{i,f}(j, k) \quad (30)$$

Mediante le seguenti equazioni ci si riconduce quindi ai carichi orari merci totali sulla tratta omologa i -esima in riferimento alle fasce orarie di punta e di morbida di cui al paragrafo 2.3.1²⁰:

$$C_{i,punta} = \lceil 2/3 \cdot (\max(e_{i,fascia1,k})_k) + 3/10 \cdot (\max(e_{i,fascia2,k})_k) \rceil \quad (31)$$

$$C_{i,morbida} = \lceil 1/6 \cdot (\max(e_{i,fascia1,k})_k) + 7/10 \cdot (\max(e_{i,fascia2,k})_k) \rceil \quad (32)$$

Tali valori sono direttamente derivati dai conteggi rappresentati al paragrafo 2.3.3.4 e non sono in genere coerenti con gli omologhi valori calcolabili a partire dalle frequenze di prima assegnazione di cui al paragrafo 2.3.3.6, che sono calcolate mediante un raggruppamento non lineare.

Quindi, per ogni tratta omologa i , si avranno dei carichi di punta e morbida fittizi $C'_{i,k}$ calcolati a partire dalle frequenze di prima assegnazione come:

$$C'_{i,punta} = \left\lceil 60 \cdot \sum_{f=1}^F b_{i,f} \frac{1}{f'_{f,punta}} \right\rceil \quad (33)$$

$$C'_{i,morbida} = 60 \cdot \left\lceil \sum_{f=1}^F b_{i,f} \frac{1}{f'_{f,morbida}} \right\rceil \quad (34)$$

²⁰ L'operatore $\lceil \cdot \rceil$, detto *operatore ceiling*, è l'operatore di arrotondamento all'intero superiore.

dove il fattore $b_{i,f}$ della matrice di percorrenza restringe la somma alle sole relazioni rilevanti per la tratta omologa in esame.

Esiste quindi uno scarto totale S , di punta e di morbida, che esprime l'errore introdotto con l'approssimazione delle frequenze:

$$S_{punta} = \sum_{i=1}^I |C_{i,punta} - C'_{i,punta}| \quad (35)$$

$$S_{morbida} = \sum_{i=1}^I |C_{i,morbida} - C'_{i,morbida}| \quad (36)$$

A questo punto è necessario procedere ad un lavoro iterativo, necessariamente non in forma chiusa a motivo della discretezza dei valori utilizzabili per le varie f' , per avvicinare quanto più possibile a zero gli scarti totali relativi alle due fasce orarie, diminuendo aumentando, al più di un intervallo, le frequenze di prima assegnazione.

Ciò che si ottiene è il vettore F delle frequenze orarie assegnate definitive alle varie relazioni merci:

$$F = (f_1 \quad f_2 \quad \dots \quad f_F) \quad (37)$$

2.3.3.8 Percorrenze delle relazioni merci nel nodo di Milano

Come citato precedentemente, all'interno del nodo di Milano l'analisi secondo i criteri di cui ai punti precedenti non è stata condotta, se non per le località di Milano Smistamento e Milano Certosa (uniche località O/D per i servizi merci interne al nodo).

Le percorrenze delle relazioni merci all'interno del nodo sono state assegnate privilegiando le linee di "Cintura"²¹, garantendo la continuità alle località di confine del nodo, e verificando la presenza statistica di treni merci percorrenti le tratte assegnate attraverso il portale <http://picweb.rfi.it>, sempre per il periodo di riferimento dal 12/03/2012 al 17/03/2012.

2.4 Determinazione della capacità teorica

In riferimento alle equazioni fornite dalla normativa (vedere equazioni (1) e (2)), ai fini del calcolo della capacità, i dati infrastrutturali necessari per le linee a doppio binario sono:

²¹ Linee di "Cintura": linee appartenenti al Nodo di Milano che costituiscono itinerari di collegamento tra i vari impianti del nodo di Milano ed originariamente ideate con prevalente funzioni merci. Oggi svolgono un importante ruolo anche per i servizi viaggiatori.

- D_n [min] è il tempo di distanziamento in linea indicato come “normale”. Qualora esso debba essere derivato dal tempo di sblocco, quest’ultimo deve essere calcolato sulla sezione rilevante considerandone il tempo medio di percorrenza, ovvero in prima approssimazione il tempo percorso alla velocità di rango B²², trascurando in quest’ultimo caso gli eventuali allungamenti di percorrenza.

Mentre per le linee a semplice binario, i dati infrastrutturali necessari sono:

- T_d [min] è il tempo necessario a percorrere, in prima approssimazione, alla velocità di rango B la sezione rilevante senza considerare gli eventuali allungamenti di percorrenza;
- z [min] è il tempo di incrocio ”normale”, tra l’arrivo del secondo treno incrociante e la partenza del primo.

Basandosi sulla normativa citata si propone un’equazione che sia valida per entrambi i casi (di linea a semplice e a doppio binario) finalizzata al calcolo della capacità teorica (secondo la definizione di cui al paragrafo 1.1.1) sulla linea o tratta considerata. L’equazione che si propone determina, per il caso di linee a doppio binario, la capacità teorica dell’infrastruttura per senso di marcia, non comprensiva quindi dei due sensi di marcia. Tale ipotesi è adottabile in quanto il modello di esercizio dell’ambito di analisi è caratterizzato da orario cadenzato simmetrico; le condizioni di capacità e livello di utilizzazione determinate da tale modello di esercizio, pertanto, sono le medesime in ciascuno dei due sensi di marcia. L’equazione proposta per il calcolo della capacità teorica per ciascuna tratta, secondo la discretizzazione di cui al paragrafo 2.2, è la seguente (valore arrotondato all’intero più prossimo)²³:

$$Kt_l = 60/S_l \quad (38)$$

Dove:

- Kt_l [treni/h] è la capacità teorica (considerata per senso di marcia su linee a doppio binario) per la tratta l -esima;
- S_l [min] è la specifica tecnica che determina la capacità per la tratta l -esima.

La specifica S_l adottata, per il caso di linee a doppio binario con distanziamento in regime

²² Si utilizza il rango B come riferimento in quanto è situazione mediata tra i ranghi A e C ed è inoltre il rango caratteristico della maggior parte dei treni regionali, che costituiscono la categoria di treni più numerosa.

²³ Il valore di Kt_l , coerentemente con il concetto che rappresenta, dovrebbe essere arrotondato all’intero inferiore. Tuttavia la prassi per il calcolo della capacità teorica vuole che esso sia approssimato all’intero più prossimo al valore reale.

di BA o BAcc, è data da:

$$S_l = Dn_l \quad (39)$$

La specifica Dn_l [min] adottata è quella indicata dallo Scenario Tecnico (eventualmente mediata, qualora vengano proposti due valori) per la linea o la tratta l -esima considerata. Per linee in fase di realizzazione (considerate nella seconda fase del lavoro) tale valore è stato dedotto dalla tabella riportata in Appendice A e descritta al paragrafo 1.2.3.

La specifica S_l adottata per il caso di linee a semplice binario, o a doppio binario con distanziamento diverso dal regime di BA o BAcc, è quella che si riferisce al caso più gravoso tra treni incrocianti (caso descritto dalla specifica d'incrocio) e treni al seguito (caso descritto dalla specifica di distanziamento). La specifica adottata, quindi, è data da:

$$S_l = \max(Tp_l + z_l; Dp_l) \quad (40)$$

Dove:

- Tp_l [min] è il tempo di percorrenza della traccia più lenta circolante sulla sezione rilevante per la tratta l -esima;
- z_l [min] è il tempo d'incrocio per la tratta l -esima, definito al paragrafo 1.2.5 come *tempo fra arrivo 2° treno e partenza 1° treno (A/P)*.
- Dp_l [min] è la specifica di distanziamento dovuta alla traccia più lenta circolante sulla sezione rilevante per la tratta l -esima;

Il valore Tp_l adottato, distaccandosi dalla definizione stretta data dalla normativa che richiederebbe il valore di Td , corrispondente al tempo di percorrenza in rango A, è il tempo di percorrenza, riferito alla sezione rilevante, della traccia più lenta circolante sulla tratta l -esima considerata. Tale valore descrive al meglio la capacità reale dell'infrastruttura poiché considera le tracce che gravano effettivamente sulla rete. Per linee in fase di realizzazione (considerate nella seconda fase del lavoro) tale valore si deduce dai tempi di percorrenza stimati nelle previsioni di traffico studiate per ciascuna relazione. Il valore z_l adottato è quello dichiarato nelle Specifiche Tecniche e definito al paragrafo 1.2.5 come *fra arrivo 2° treno e partenza 1° treno (A/P)*. Ipotizzando infatti due treni incrocianti, esso è il tempo minimo tra le due occupazioni successive dello stesso tratto di infrastruttura, e grava quindi sulla capacità teorica della tratta l -esima considerata. Per linee in fase di realizzazione (considerate nella seconda fase del lavoro), per la determinazione di tale valore si fa riferimento al caso generale descritto al paragrafo 1.2.5, in riferimento al tempo *fra arrivo 2° treno e partenza 1° treno (A/P)*.

La specifica Dp_l adottata è quella dichiarata dalle Specifiche Tecniche per la linea o la tratta l -esima considerata, adottando come tempo di *sblocco* il valore di Td sopra definito. Per linee in fase di realizzazione (considerate nella seconda fase del lavoro), per la determinazione di tale valore si fa riferimento al caso generale descritto al paragrafo 1.2.3, caso 1.

Per il casi di tratte a semplice binario con PBI il valore di specifica S_l è quello dato da treni al seguito. L'aggravio di utilizzazione di capacità dovuto all'utilizzo della linea in direzioni diverse è determinato dallo studio del modello di esercizio, descritto nei paragrafi seguenti.

2.5 Capacità commerciale per linee a doppio binario a modello di esercizio eterotachico

La capacità commerciale di una tratta, come già accennato nei paragrafi precedenti, dipende strettamente dal modello di esercizio. Si presenta di seguito il metodo adottato per determinare la capacità commerciale, che si differenzia in parte da quello proposto dalla normativa [1] descritto a paragrafo 1.1.2, ma tiene conto del modello di esercizio a orario cadenzato simmetrico. L'analisi viene condotta per linee o tratte ove siano presenti almeno due distinti livelli di velocità. Sulle tratte omotachiche non è necessario condurre l'analisi descritta di seguito in quanto la capacità commerciale è uguale alla capacità teorica. Il metodo presentato è valido per le tratte eterotachiche a doppio binario. Per il caso del semplice binario sarebbero necessari opportuni adattamenti che non verranno trattati in questa sede in quanto, nell'analisi condotta, le linee a semplice binario considerate sono tutte caratterizzate da modello di esercizio omotachico.

2.5.1 Discretizzazione delle linee e delle tratte

Ciascuna linea o tratta derivante dalla discretizzazione della rete descritta al paragrafo 2.2, ove siano evidenti almeno due livelli di velocità, viene suddivisa ulteriormente in *sottotratte*. Ogni sottotratta è delimitata da due stazioni che siano o una località di confine della tratta considerata o una stazione o un posto di movimento intermedio atto all'effettuazione di precedenza. Per tale definizione, all'interno di ogni sottotratta, non possono essere effettuate operazioni di regolazione della circolazione come precedenza. Qualora una linea o tratta su cui deve essere calcolata la capacità commerciale non presenti località intermedie, l'unica sottotratta definibile è quella coincidente con la linea

o tratta stessa.

2.5.2 Analisi e definizione dei livelli di velocità

Si sono analizzati i livelli di velocità presenti sulle tratte eterotachiche attraverso l'analisi circolato del grafico orario, visualizzabile attraverso il portale <http://picweb.rfi.it>. L'analisi è stata condotta considerando, come riferimento temporale, una fascia oraria compresa tra le 15 e le 19 circa di un giorno feriale di massimo carico. Tale scelta è giustificata dal fatto che essa è una fascia oraria nella quale tutti i servizi ferroviari definiti (merci e passeggeri) sono circolanti; con le coordinate temporali d'analisi scelte, inoltre, si può analizzare la successione dei livelli di velocità sia in fasce di punta che in fasce di morbida.

Considerando un solo senso di marcia arbitrario, poiché il modello considera questa ipotesi per l'analisi della capacità su linee a doppio binario per i motivi esposti al paragrafo 2.4, si definisce il numero di livelli di velocità presenti su ciascuna linea o tratta. Dall'analisi del programmato si deducono i tempi di percorrenza dell'intera linea o tratta di ogni traccia graficata. Si definiscono, da tale analisi, le famiglie di tracce percorrenti la linea o tratta, cioè tracce caratterizzate dello stesso tempo di percorrenza dell'intera linea o tratta, o con tempi di percorrenza che abbiano differenze non superiori al 30% o, in casi limite, al 40%, e quindi assimilate ad uno stesso livello di velocità. Il limite del 30-40%, infatti, applicato all'ambito di analisi, accorpa in famiglie tracce che si differenziano al più di tre o quattro minuti. Il numero di famiglie di tracce definite è pertanto uguale al numero di livelli di velocità presenti sulla linea o tratta.

2.5.3 Successione e compattazione delle tracce

Il lavoro di calcolo e la rappresentazione descritti in questo sottoparagrafo e in quelli successivi sono stati svolti con un foglio di calcolo di Microsoft Excel. In Figura 9 si presenta un esempio di riferimento per la compattazione descritta nel seguito.

Per ogni sottotratta sono stati definiti i tempi di percorrenza di ogni *famiglia di tracce* presenti [7]. Il tempo di percorrenza di riferimento per ciascuna sottotratta è quello dato dalla percorrenza della traccia più ricorrente tra tutte quelle di una stessa famiglia di tracce.

Su ogni sottotratta è stata quindi individuata e graficata la *successione delle tracce reali* afferenti alle diverse famiglie, a partire dai dati analizzati secondo il metodo e le

coordinate temporali di cui al paragrafo 2.5.2 (tracce in rosso, in Figura 9). La successione e il numero di tracce considerate sono quelle reali, ma le caratteristiche della traccia sono quelle assunte dalla omogeneizzazione in famiglie descritta al sottoparagrafo precedente. Le tracce relative ad un'ora di riferimento sono state compattate²⁴ giustapponendole in successione, secondo la specifica di distanziamento quando si succedano due tracce appartenenti alla stessa famiglia e secondo le specifiche di precedenza nelle stazioni estreme di ogni sottotratta quando si succedano tracce appartenenti a famiglie diverse [7].

Su ogni sottotratta è stata individuata e graficata, nello stesso schema grafico, la successione teorica di tracce realizzabile con un modello di esercizio omotachico, con tempo di percorrenza di ogni traccia uguale a quello della famiglia di tracce più veloce tra quelle definite per la sottotratta in analisi e con tracce in successione secondo la specifica di distanziamento per la linea o tratta (tracce in blu, Figura 9). La successione delle tracce omotachiche teoriche ha inizio coincidente con quello della prima traccia reale e si conclude una volta compresa l'ultima traccia reale definita, considerandola nella sua interezza fino all'arrivo alla seconda località. In questo modo la griglia omotachica comprende tutte le tracce della griglia reale definite.

²⁴ Metodo di compattazione descritto in [7]

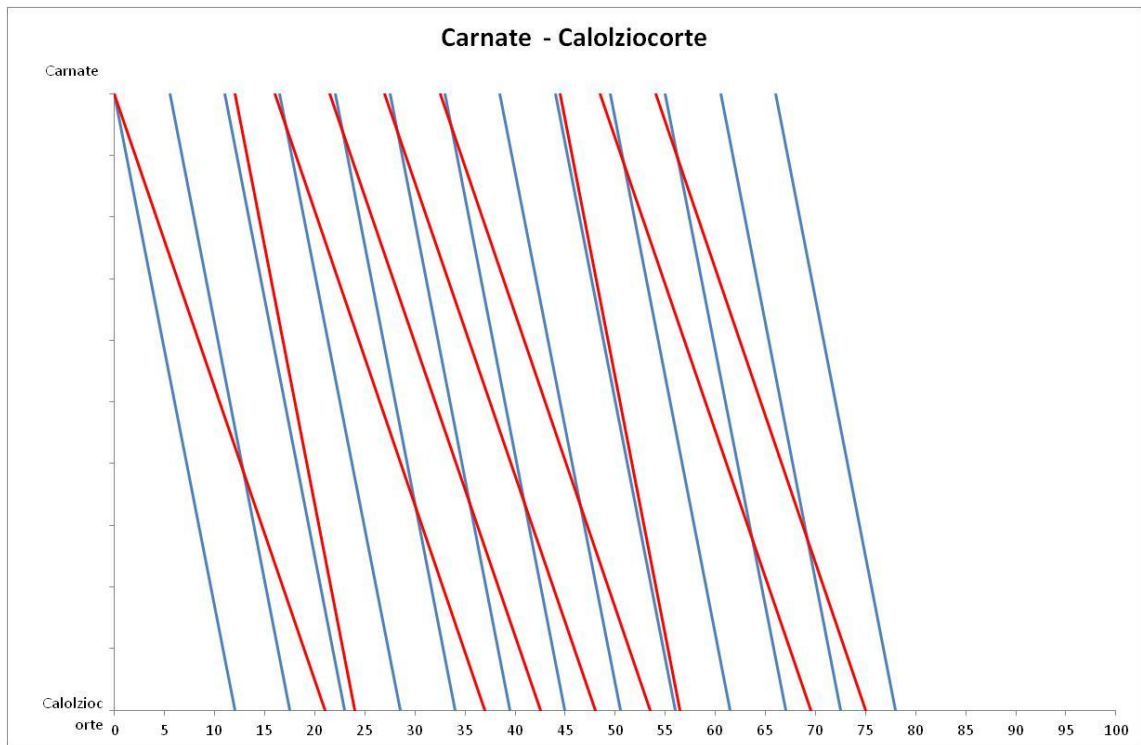


Figura 9: Esempio di compattazione di tracce reali di diverso livello di velocità (rosso) rispetto a tracce teoriche omotachiche (blu)

2.5.4 Determinazione delle tracce di *sfrido*

Le tracce di *sfrido* (definite come T_i) sono definite come le tracce omotachiche che, a causa del modello di esercizio eterotachico, sono da aggiungere come gravanti sull'infrastruttura alle tracce teoriche calcolate secondo la metodologia descritta al paragrafo 2.4. Il numero di tracce di *sfrido* per ciascuna sottotratta, su base oraria e per senso di marcia, è dato dalla differenza tra il numero di tracce teoriche omotachiche e il numero di tracce reali definite secondo la metodologia descritta al paragrafo 2.5.3. Il numero di tracce di *sfrido* da assegnare a ciascuna linea o tratta eterotachica è dato dal valore massimo di tracce di *sfrido* tra tutti quelli relativi alle sottotratte che la compongono. La sottotratta più eterotachica, infatti, è quella che presenta il maggior numero di tracce di *sfrido* ed è quella che pesa maggiormente sulla capacità della linea.

2.5.5 Capacità commerciale

La capacità commerciale di ciascuna linea o tratta eterotachica considerata nell'analisi è determinata dalla presenza di tracce di *sfrido* gravanti sulla tratta. Il metodo adottato non determina direttamente la capacità commerciale ma, a partire dalla capacità teorica,

determina il grado di utilizzazione tenendo conto delle tracce orarie di sfrido gravanti sulla tratta o tratta considerata.

2.5.6 Considerazioni sul metodo

Il metodo presentato considera la compattazione delle tracce reali che si susseguono fino a raggiungere l'intervallo di un'ora. L'intervallo massimo di compattazione scelto è dovuto al fatto che la capacità di riferimento per ciascuna linea è sempre la capacità oraria, considerata la tipologia di modello di esercizio. Compattando quindi le tracce reali nell'intervallo temporale di riferimento è possibile determinare, per la successione data dal modello di esercizio, le prestazioni dell'infrastruttura in termini di capacità oraria.

La discretizzazione in sottotratte adottata e descritta è finalizzata all'analisi della capacità oraria di una linea dovuta al modello di esercizio ma considerando il massimo grado di utilizzo delle dotazioni di infrastruttura, compresi i binari di precedenza. Le stazioni limite di ogni sottotratta, infatti, per definizione sono località di diramazione o ove sia possibile tecnicamente effettuare operazioni di precedenza. Le tracce, inoltre, sono poste tra loro a specifica di precedenza se di diverso livello di velocità e a specifica di distanziamento se del medesimo livello di velocità. Tale condizione simula il caso di effettuazione di operazioni di precedenza tra tracce di diverso livello di velocità in ogni stazione idonea, situazione non prevista da alcun modello di esercizio e non commercialmente attuabile, ma ritenuta confacente alla descrizione della pura capacità infrastrutturale di una linea eterotachica.

2.6 Capacità per linee a semplice binario con PBI

Caso degno di attenzione particolare sono le linee a semplice binario con sezioni dotate di Posti di Blocco Intermedi (nel seguito PBI). In questo caso la capacità è determinata ancor maggiormente dal modello di esercizio che si vuole applicare alla tratta interessata. La trattazione che segue propone equazioni e un modello descrittivo della capacità per le tratte a semplice binario con PBI.

2.6.1 Descrizione della situazione infrastrutturale

Alcune linee a semplice binario di nuova costruzione o in corso di potenziamento infrastrutturale, con regime di distanziamento BCA, sono dotate di PBI, ubicato generalmente a metà sezione, che suddivide la tratta in 2 sezioni. Si consideri il caso in

cui la linea sia percorsa da treni al seguito, presentato in Figura 10. Affinché il treno 2 possa impegnare la tratta non è necessario che il treno 1 raggiunga la stazione B, ma è sufficiente che liberi la sezione oltrepassando il PBI.

Si consideri ora il caso di treni incrocianti, figura 11. Ogni volta che si deve invertire il verso del blocco non è possibile sfruttare la capacità data dalla liberazione della prima sezione dal treno 1. Essendo infatti il treno successivo (treno 2) un incrociante, e non al seguito, è necessario che il treno 1 raggiunga la stazione B e che nessun treno abbia impegnato nel frattempo la tratta, così da permettere l'inversione del verso del blocco.

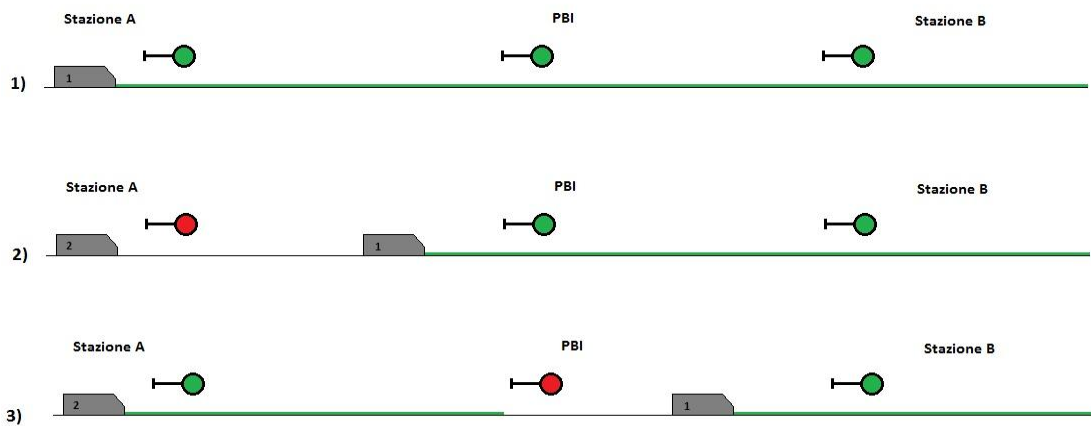


Figura 10: Distanziamento treni su linee a semplice binario con PBI, caso di treni al seguito

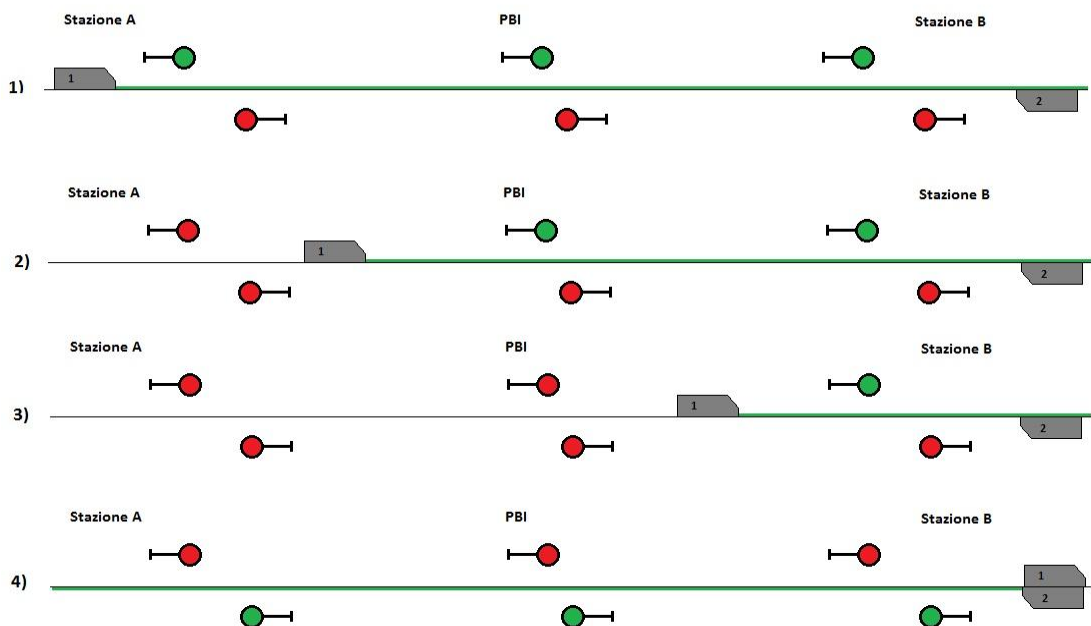


Figura 11: Distanziamento treni su linee a semplice binario con PBI, caso di treni incrocianti

La massima capacità ottenibile per tratte con queste caratteristiche, quindi, è quella per il caso di treni al seguito a specifica di distanziamento.

2.6.2 Capacità massima ottenibile

Le equazioni per il calcolo delle specifiche di distanziamento derivano dall'equazione (40), dove i valori di Tp e Dp sono determinati per ciascuno dei due casi di treni al seguito e di inversione del verso del blocco. Le equazioni definite sono le seguenti:

$$S_{l,seguito} = Dp_{l,seguito} \quad (41)$$

Dove:

- $S_{l,seguito}$ [min] è la specifica di distanziamento per la tratta l -esima per il caso di treni al seguito;
- $Dp_{l,seguito}$ [min] è la specifica di distanziamento dovuta alla traccia più lenta circolante sulla sezione rilevante, tra le due delimitate da stazione e PBI, per la tratta l -esima, per il caso di treni al seguito;

$$S_{l,inversione} = Tp_{l,inversione} + z \quad (42)$$

Dove:

- $S_{l,inversione}$ [min] è la specifica di distanziamento per la tratta l -esima per il caso di inversione del blocco;
- $Tp_{l,inversione}$ [min] è il tempo di percorrenza della traccia più lenta circolante sull'intera tratta l -esima, per il caso di treni incrocianti;
- z [min] è il tempo d'incrocio per la tratta l -esima definito al paragrafo 1.2.5 come *fra arrivo 2° treno e partenza 1° treno (A/P)*.

La specifica di distanziamento da inserire nell'equazione (38) per il calcolo della capacità teorica massima è quella che considera il caso di treni al seguito, quindi quella calcolata attraverso l'equazione (41).

2.6.3 Tracce di sfrido di prima approssimazione

Le inversioni del blocco, dedotte dall'analisi del modello di esercizio e particolarmente gravose per la capacità della tratta interessata, sono state considerate come tracce di sfrido, al fine di poter implementare nell'algoritmo un valore che possa recuperare le stesse equazioni adottate per le altre casistiche.

Per comprendere come determinare le tracce di sfrido si procede attraverso un approccio empirico. Si consideri il caso presentato in Figura 12. Si evidenziano due differenti situazioni di utilizzo della massima capacità della tratta: quella con la massima

occupazione per treni al seguito tutti nella stessa direzione dalla stazione A alla stazione B (primo caso) e quella con la massima occupazione con una sola inversione del blocco. Le occupazioni delle sezioni sono evidenziate dal riempimento con trama arancione e, a destra di ciascuna sezione occupata, si evidenzia il conteggio progressivo dei treni occupanti. Nelle tabelle sottostanti alla schematizzazione della tratta e delle sezioni si evidenziano la successione temporale e il totale cumulato delle tracce a partire dall'inizio del conteggio. Nel caso con inversione del blocco si evidenziano inoltre, nelle tabelle, il totale cumulato delle inversioni del blocco e il totale cumulato delle tracce in difetto rispetto al caso di treni al seguito.

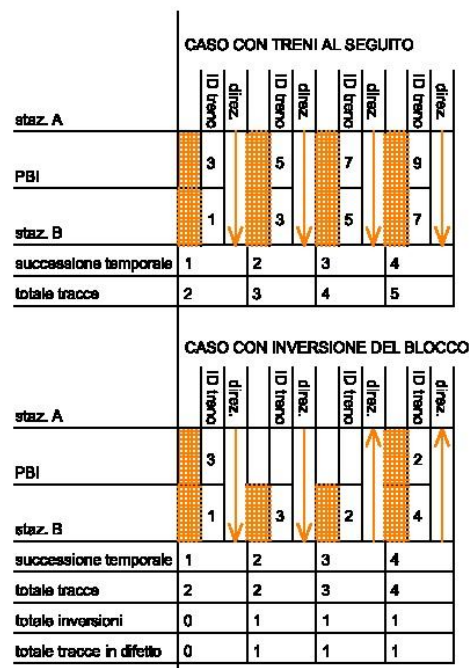


Figura 12: occupazioni delle sezioni su tratte con PBI, caso con una inversione del blocco

Se dopo che il treno 3 arriva in B il blocco deve essere invertito, alla successione temporale 2 non potrà essere inviato un treno al seguito da A al treno 3, perché non si ha l'intera tratta libera per permettere l'inversione. Da tale approccio empirico si evidenzia che, ad ogni inversione del blocco, si ha una traccia in difetto rispetto al caso di treni in successione.

Il primo caso analizzato, come visto, considera la situazione di capacità massima dovuta a una sola inversione del blocco, con treni al seguito prima e dopo l'inversione. Si considera ora il caso di doppia inversione del blocco, evidenziato in Figura 13.

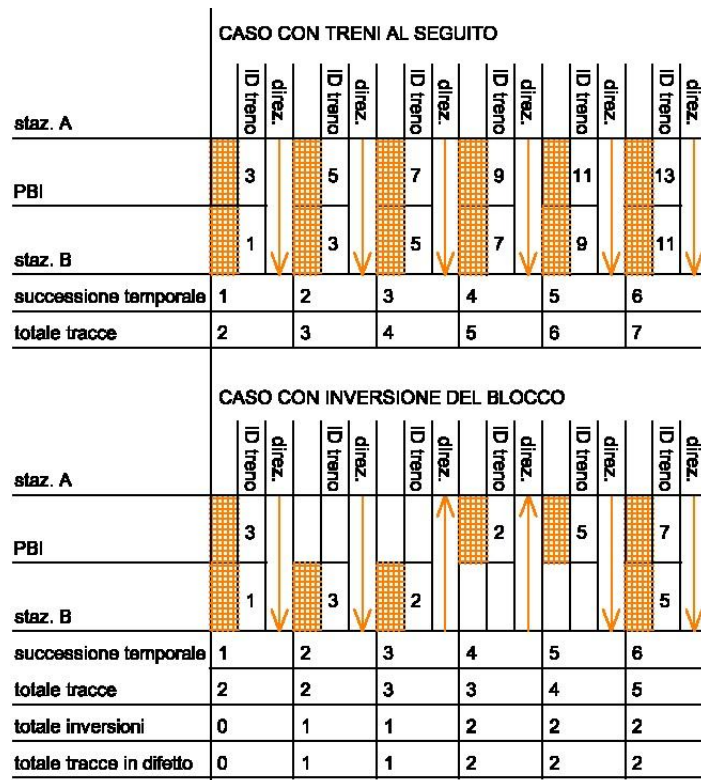


Figura 13: occupazioni delle sezioni su tratte con PBI, caso con due inversioni del blocco

Da tale approccio empirico si evidenzia che, anche con inversioni del blocco successive, ad ogni inversione del blocco si ha una traccia in difetto rispetto al caso di treni in successione. I casi con n inversioni del blocco successive sono sempre riconducibili al caso presente. Se ne trae quindi la conclusione generale che²⁵ il numero di inversioni del blocco corrisponde al numero di tracce in difetto rispetto al caso di treni in successione. Le tracce orarie di sfrido per il caso di linee a semplice binario con un PBI (definite come $T_{l,PBI}$) sono date dalla metà del numero orario di inversioni del blocco, deducibile dall'analisi del modello di esercizio. L'algoritmo infatti lavora su un modello di capacità calcolato per senso di marcia, quindi il numero totale di tracce va dimezzato.

L'equazione che descrive il metodo empirico presentato è la seguente:

$$T_{l,PBI,1} = n/2 \quad (43)$$

Dove:

- $T_{l,PBI,1}$ [treni/h] è il numero di tracce orarie di sfrido derivanti dalla prima analisi empirica appena descritta per la tratta l -esima;
- n è il numero orario di inversioni del blocco della tratta con un PBI.

²⁵ Fatte salve le considerazioni sui tempi di sblocco e di incrocio di cui al paragrafo successivo.

Regolamentariamente, su linee in BCA sono permessi sino a due PBI. In tal caso, si hanno due tracce di sfrido per ogni inversione e quindi il numero orario di tracce di sfrido è pari al numero di inversioni.

2.6.4 Tracce di sfrido reali

Il metodo finora presentato, tuttavia, non tiene conto del fatto che, ogni volta che si inverte l'orientamento del blocco, poiché la capacità si riduce al caso di linea a semplice binario senza PBI, la specifica di distanziamento è data dall'equazione (42), la quale, confrontata con l'equazione (41), evidenzia che la specifica di distanziamento adottata per il caso di utilizzo della linea con treni al seguito non è esattamente la metà della specifica adottata per il caso di utilizzo della linea con inversione del blocco. Esistono infatti valori fissi tecnici da addizionarsi ai tempi di percorrenza, che creano una non linearità tra le specifiche calcolate per i due casi citati. Adottando l'ipotesi semplificativa che il PBI si trovi esattamente a metà sezione si possono riscrivere le equazioni (41) e (42) esplicitando più nel dettaglio i termini che le compongono, secondo le equazioni che seguono:

$$S_{l,inversione} = T_{p_l} + T_{inc} \quad (44)$$

Dove:

- $S_{l,inversione}$ [min] è la specifica di distanziamento per la tratta l -esima per il caso di inversione del blocco;
- T_{p_l} [min] è il tempo di percorrenza della traccia più lenta circolante sull'intera tratta l -esima;
- T_{sb} [min], incremento all'incrocio, è l'intervallo necessario per potere programmare l'invio del treno incrociante dopo che il treno che ha occupato per primo la tratta giunge alla località di incrocio.

$$S_{l,seguito} = 0,5 \cdot T_{p_l} + T_{sb} \quad (45)$$

Dove:

- $S_{l,seguito}$ [min] è la specifica di distanziamento per la tratta l -esima per il caso di treni al seguito;
- T_{p_l} [min] è il tempo di percorrenza della traccia più lenta circolante sull'intera tratta l -esima;
- T_{sb} [min], incremento allo sblocco, è l'intervallo necessario per potere programmare un treno a seguito dopo che il treno precedente ha percorso la sezione.

Il valore di $T_{l,PBI,l}$ di prima approssimazione, calcolato al paragrafo precedente, quindi, è sovrastimato. Considerando il PBI a metà tratta, infatti, il tempo di percorrenza per il caso di treni al seguito può considerarsi la metà del tempo di percorrenza della traccia più lenta sull'intera tratta, ma il tempo aggiuntivo, 2' per il caso generale (secondo le indicazioni di cui al paragrafo 1.2.3), resta invariato.

Si calcola quindi il *coefficiente di modello di esercizio* K_{PBI} , che indica la differenza percentuale tra la massima capacità con utilizzo della linea con treni al seguito e utilizzo della linea con inversione del blocco.

$$K_{PBI,l} = \frac{S_{l,seguito} - S_{l,inversione}}{S_{l,seguito}} \quad (46)$$

Dove:

- $S_{l,seguito}$ [min] è il la specifica di distanziamento adottata per utilizzo della linea con treni al seguito per la tratta l -esima, secondo l'equazione semplificata (45);
- $S_{l,inversione}$ [min] è il la specifica di distanziamento adottata per utilizzo della linea con inversione del blocco per la tratta l -esima, secondo l'equazione semplificata (44);

Tenendo conto di questo aspetto, quindi, il valore dedotto dalla prima analisi, $T_{l,PBI,l}$, deve essere opportunamente ridotto secondo il valore del coefficiente $K_{PBI,l}$. Ad ogni inversione del blocco, infatti, non si ha la perdita di capacità di un'intera traccia ma di una quota di traccia, data dal valore del coefficiente $K_{PBI,l}$. Pertanto si applica all'equazione (43) il coefficiente di modello di esercizio:

$$T_{l,PBI} = n/2 \cdot K_{PBI,l} \quad (47)$$

Dove:

- $T_{l,PBI}$ [treni/h] è il numero di tracce orarie di sfrido dovute all'inversione del blocco su linee con PBI, per la tratta l -esima;
- n è il numero orario di inversioni del blocco della tratta con PBI.

Si riporta in Figura 14 l'andamento di $K_{PBI,l}$, in funzione di T_{pl} .

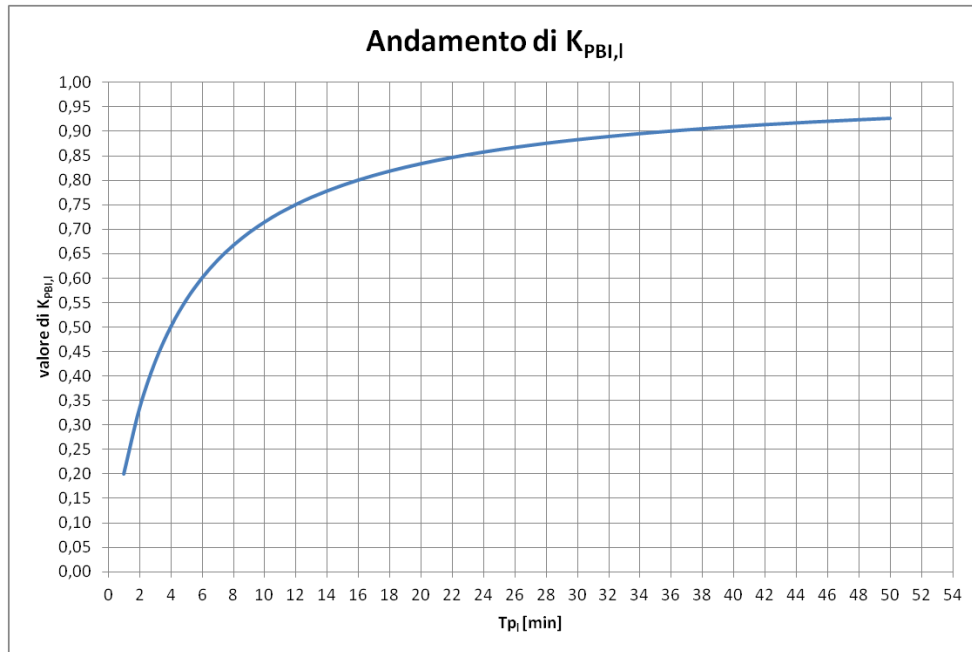


Figura 14: andamento di $K_{PBI,l}$ in funzione di Tp_l

Il valore del coefficiente $K_{PBI,l}$, all'aumentare di Tp_l , tende a 1, riconducendosi quindi al calcolo di prima approssimazione trattato al paragrafo precedente.

Il valore calcolato attraverso l'equazione (47) è il numero di tracce di sfrido dovuto alle inversioni del blocco su linee a semplice binario dotate di PBI. Tale valore deve essere approssimato all'unità o semi-unità superiore rispetto al valore risultante dall'equazione, dal momento che ogni unità, per la definizione data, rappresenta due tracce orarie (una per senso di marcia).

2.7 Modellazione dei dati per il calcolo del grado di utilizzazione orario

L'analisi e modellazione dei dati raccolti, descritta nel presente paragrafo, è stata effettuata con un foglio di lavoro di Microsoft Excel. L'implementazione di tale foglio di lavoro si compone di diverse fasi operative.

Si definisce il vettore \mathbf{p} , dei carichi orari di punta, secondo i principi di cui al paragrafo 2.3.1, di ciascuna relazione passeggeri e merci definita secondo il metodo descritto ai paragrafi 2.3.2 e 2.3.3, per la sola fascia di punta:

$$\mathbf{p} = \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \dots \\ p_R \end{pmatrix} \quad (48)$$

Dove:

- $p_1 \dots p_R$ [treni/h] sono i carichi orari in fasce di punta dell' r -esima relazione passeggeri e merci definita;
- R è il numero delle r -esime relazioni passeggeri e merci definite.

Si definisce il vettore \mathbf{q} , dei carichi orari di morbida, secondo i principi di cui al paragrafo 2.3.1, di ciascuna relazione passeggeri e merci definita secondo il metodo descritto ai paragrafi 2.3.2 e 2.3.3, per la sola fascia di morbida:

$$\mathbf{q} = \begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \dots \\ q_R \end{pmatrix} \quad (49)$$

Dove:

- $q_1 \dots q_R$ [treni/h] sono i carichi orari in fasce di morbida dell' r -esima relazione passeggeri e merci definita;
- R è il numero delle r -esime relazioni passeggeri e merci definite.

Si definisce la matrice dei legami relazioni-tratte \mathbf{S} , che mappa la pertinenza dell' r -esima relazione passeggeri e merci e ciascuna linea o tratta l -esima oggetto di analisi:

$$\mathbf{S} = \begin{pmatrix} s_{1,1} & s_{1,2} & \dots & s_{1,R} \\ s_{2,1} & s_{2,2} & \dots & s_{2,R} \\ \vdots & & & \\ s_{L,1} & s_{L,2} & \dots & s_{L,R} \end{pmatrix} \quad (50)$$

Agli elementi $s_{l,r}$ che la compongono viene associato il valore di:

- 1, se la relazione r -esima percorre la tratta l -esima;
- 0, se la relazione r -esima non percorre la tratta l -esima.

I carichi di traffico per senso di marcia su ogni linea o tratta l -esima, dovuti a tutte le relazioni r -esime che percorrono la tratta in fasce di punta, è descritto dal vettore \mathbf{c} , dei carichi orari di punta per senso di marcia, dato dal seguente prodotto matriciale:

$$\mathbf{c} = \mathbf{S} \times \mathbf{p} \quad (51)$$

Gli elementi c_l che compongono il vettore sono i carichi orari per senso di marcia dovuti a tutte le relazioni r -esime che percorrono la linea o tratta l -esima in fascia di punta.

I carichi di traffico per senso di marcia su ogni linea o tratta l -esima, dovuti a tutte le relazioni r -esime che percorrono la tratta in fasce di morbida è descritto dal vettore \mathbf{d} , dei carichi orari di morbida per senso di marcia, dato dal seguente prodotto matriciale:

$$\mathbf{d} = \mathbf{S} \times \mathbf{q} \quad (52)$$

Gli elementi d_l che compongono il vettore sono i carichi orari per senso di marcia dovuti a tutte le relazioni r -esime che percorrono la linea o tratta l -esima in fascia di morbida.

Il grado di utilizzazione orario $U_{l,D}$ per la linea o tratta l -esima a doppio binario in fascia di punta, pertanto è dato da:

$$U_{l,D} = \frac{c_l + T_l}{Kt_l} \cdot 100 \quad (53)$$

Dove:

- c_l [treni/h] è un elemento del vettore \mathbf{c} per la linea o tratta l -esima a doppio binario;
- T_l [treni/h] è il numero delle tracce orarie di sfrido per la linea o tratta l -esima a doppio binario, calcolato secondo la metodologia di cui al paragrafo 2.5.4;
- Kt_l [treni/h] è la capacità oraria teorica per senso di marcia per la linea o tratta l -esima a doppio binario, calcolata secondo la metodologia di cui al paragrafo 2.4.

Il grado di utilizzazione orario $V_{l,D}$ per la linea o tratta l -esima a doppio binario in fascia di morbida, pertanto è dato da:

$$V_{l,D} = \frac{d_l + T_l}{Kt_l} \cdot 100 \quad (54)$$

Dove:

- d_l [treni/h] è un elemento del vettore \mathbf{d} per la linea o tratta l -esima a doppio binario;
- T_l [treni/h] è il numero delle tracce orarie di sfrido per la linea o tratta l -esima a doppio binario, calcolato secondo la metodologia di cui al paragrafo 2.5.4;
- Kt_l [treni/h] è la capacità oraria teorica per senso di marcia per la linea o tratta l -esima a doppio binario, calcolata secondo la metodologia di cui al paragrafo 2.4.

Per le linee a semplice binario la capacità residua deve essere calcolata considerando i carichi orari in entrambe le direzioni di marcia, in quanto su ogni binario sono presenti flussi di traffico bidirezionali. Il grado di utilizzazione orario $U_{l,S}$ per la linea o tratta l -esima a semplice binario in fascia di punta, pertanto è dato da:

$$U_{l,S} = \frac{2(c_l + T_l + T_{l,PBI})}{Kt_l} \cdot 100 \quad (55)$$

Dove:

- c_l [treni/h] è un elemento del vettore \mathbf{c} per la linea o tratta l -esima a semplice binario;
- T_l [treni/h] è il numero delle tracce orarie di sfrido per la linea o tratta l -esima a semplice binario, calcolato secondo la metodologia di cui al paragrafo 2.5.4;

- $T_{l,PBI}$ [treni/h] è il numero delle tracce orarie di sfrido per la linea o tratta l -esima a semplice binario dotata di PBI, calcolato secondo la metodologia di cui al paragrafo 2.6;
- Kt_l [treni/h] è la capacità oraria teorica per senso di marcia per la linea o tratta l -esima a semplice binario, calcolata secondo la metodologia di cui al paragrafo 2.4.

Il grado di utilizzazione orario $V_{l,s}$ per la linea o tratta l -esima a semplice binario in fascia di morbida, pertanto è dato da:

$$V_{l,s} = \frac{2(d_l + T_l + T_{l,PBI})}{Kt_l} \cdot 100 \quad (56)$$

Dove:

- d_l [treni/h] è un elemento del vettore \mathbf{d} per la linea o tratta l -esima a semplice binario;
- T_l [treni/h] è il numero delle tracce orarie di sfrido per la linea o tratta l -esima a semplice binario, calcolato secondo la metodologia di cui al paragrafo 2.5.4;
- $T_{l,PBI}$ [treni/h] è il numero delle tracce orarie di sfrido per la linea o tratta l -esima a semplice binario dotata di PBI, calcolato secondo la metodologia di cui al paragrafo 2.6;
- Kt_l [treni/h] è la capacità oraria teorica per senso di marcia per la linea o tratta l -esima a semplice binario, calcolata secondo la metodologia di cui al paragrafo 2.4.

Le equazioni presentate si differenziano, come forma, rispetto all'equazione (4), data dalla normativa. Tuttavia, coerentemente col metodo presentato, ottemperante alla normativa vigente, descrivono in maniera ugualmente corretta il grado di utilizzazione dei diversi segmenti di rete.

2.8 Modellazione dei dati per il calcolo del peso dei tagli d'orario

L'analisi e modellazione dei dati raccolti, descritta nel presente paragrafo, è stata effettuata con lo stesso foglio di lavoro di Microsoft Excel di cui al paragrafo precedente. L'implementazione di tale foglio di lavoro si compone di diverse fasi operative.

Si procede individuando i luoghi dell'infrastruttura in cui avvengono i tagli d'orario e se ne calcola il relativo peso. Si intende per *taglio d'orario* ogni nodo elementare all'interno di un impianto in cui esistono relazioni in reciproco taglio (rispetto alla definizione di taglio di cui al paragrafo 1.4) in riferimento agli itinerari di impostazione previsti nello scenario in analisi. Non sono quindi tagli d'orario le interferenze generate da perturbazioni di esercizio o interruzioni programmate.

Per valutare la gravosità relativa delle diverse situazioni di taglio, è stato introdotto il

concetto di *peso dei tagli*, in riferimento al tempo di bloccamento del tratto comune che il taglio comporta, valutando il tempo nel quale il tratto di infrastruttura comune è impegnato da un flusso e non può quindi essere impegnato dal flusso interferente. Si sono definiti, in particolare, pesi per tagli con flussi in itinerario di corretto tracciato e pesi per tagli con flussi in itinerario deviato. Il peso di un taglio è definito dalla seguente equazione:

$$P_{t,c} = Sp_{t,c} + All_{t,c} \quad (57)$$

Dove:

- $P_{t,c}$ [min] è il peso del taglio t -esimo, per il caso c -esimo di itinerario di corretto tracciato o di itinerario deviato;
- $Sp_{t,c}$ [min] è la specifica di interferenza a seguito (cfr. 1.2.6) per il taglio t -esimo per il caso c -esimo di itinerario di corretto tracciato o di itinerario deviato;
- $All_{t,c}$ [min] è l'allungamento tecnico di traccia (cfr. 1.2.1) dovuto alla percorrenza del treno di un itinerario deviato per il taglio t -esimo per il caso c -esimo di itinerario di corretto tracciato o di itinerario deviato.

L'indisponibilità del punto di interferenza per altre circolazioni è dovuta sia all'indisponibilità a partire dal momento in cui il treno inizia ad occupare il punto di interferenza, quantificata nelle specifiche tecniche, sia al tempo necessario perché il treno possa giungere con marcia non perturbata al punto di interferenza, relazionato all'allungamento tecnico.

Infatti, è corretto pensare che la specifica tecnica che intervalla il movimento di taglio in oggetto al movimento ad esso precedente sia dimensionata in modo tale che al treno tagliante sia mostrata la sequenza di aspetti non restrittivi necessaria per avere una marcia non perturbata. Tuttavia, durante l'osservazione della sequenza dei segnali e prima dell'impegno della deviate, il treno tagliante inizia una riduzione di velocità che comporta l'allungamento della percorrenza nel tratto di approccio al punto di interferenza.

L'allungamento tecnico è quindi inserito, secondo la metodologia descritta nel paragrafo 1.2.1, tra i due Punti Orario entro i quali il treno effettua il itinerario deviato. Per una corretta quantificazione del peso di un taglio, quindi, al contributo dovuto al necessario intervallamento dalle altre circolazioni, definito dalle *specifiche tecniche di interferenza*, si deve sommare il peso dovuto dall'*allungamento* di traccia causato da un itinerario deviato.

Esempio 4: Definizione peso dei tagli

Consideriamo un caso tipico, nel quale si debba determinare il peso di un taglio X in una località di bivio.

Per i tagli in itinerario di corretto tracciato supponiamo che lo Scenario Tecnico indichi una *specifica di interferenza* per bivi pari a 3', quindi:

$$Sp_{X,corr} = 3 \text{ min.}$$

Non essendoci, per tale situazione, alcun perditempo aggiuntivo dovuto ad *allungamenti tecnici* di traccia, si considera il peso dei tagli in itinerario di corretto tracciato, pari a:

$$P_{X,corr} = Sp_{X,corr} + All_{X,corr}$$

$$\text{con: } Sp_{X,corr} = 3 \text{ min; } All_{X,corr} = 0 \text{ min; } \quad \text{da cui:}$$

$$P_{X,corr} = 3 \text{ min} + 0 \text{ min} = 3 \text{ min.}$$

Per i tagli in itinerario deviato, le *specifiche di interferenza* definite dallo Scenario Tecnico, dipendono dalla velocità massima ammessa sul itinerario deviato. Si analizza, in questo esempio ciascun caso, ipotizzando un primo caso caratterizzato da un itinerario deviato a 30 km/h, un secondo caso da un itinerario deviato a 60 km/h e un terzo caso da un itinerario deviato a 100 km/h.

Applicando l'equazione definita, e tenendo presente i criteri generali di cui al 1.2.6 si avranno, per i 3 casi citati, rispettivamente i seguenti pesi:

caso 1: applico la

$$P_{X,30km/h} = Sp_{X,30km/h} + All^A_{X,30km/h}$$

$$\text{con: } Sp_{X,30km/h} = 4 \text{ min; } All_{X,30km/h} = 1,5 \text{ min; } \quad \text{da cui:}$$

$$P_{X,30km/h} = 4 \text{ min} + 1,5 \text{ min} = 5,5 \text{ min;}$$

caso2:

$$P_{X,60km/h} = Sp_{X,60km/h} + All_{X,60km/h}$$

$$\text{con: } Sp_{X,60km/h} = 3 \text{ min; } All_{X,60km/h} = 0,5 \text{ min; } \quad \text{da cui:}$$

$$P_{X,60km/h} = 3 \text{ min} + 0,5 \text{ min} = 3,5 \text{ min;}$$

caso3:

$$P_{X,100km/h} = Sp_{X,100km/h} + All_{X,100km/h}$$

$$\text{con: } Sp_{X,100km/h} = 3 \text{ min; } All_{X,100km/h} = 0 \text{ min; } \quad \text{da cui:}$$

$$P_{X,100km/h} = 3 \text{ min} + 0 \text{ min} = 3 \text{ min.}$$

In riferimento all'Esempio 4:, si noti che, in presenza di punti infrastrutturali con percorsi deviati a 30 km/h si generano, per il caso di un bivio standard, tagli in deviateda gravosi quasi il doppio di tagli in itinerario di corretto tracciato sullo stesso punto infrastrutturale. Per i casi con deviate a 60 km/h e a 100 km/h, invece, si hanno tagli in deviateda più gravosi rispettivamente del 17% e dello 0% rispetto al caso di itinerario di corretto tracciato, sempre in riferimento al caso generale.

Ad ogni nodo elementare t -esimo ove avviene un taglio d'orario viene assegnato il proprio peso $P_{t,c}$ adottando la definizione descritta, distinguendo il peso per la percorrenza

in itinerario di corretto tracciato e per la percorrenza in deviata.

Si definisce il vettore \mathbf{m} , dei pesi dei tagli in itinerario di corretto tracciato, in cui, ad ogni nodo elementare t -esimo ove avviene un taglio d'orario, viene associato il proprio peso per il caso di percorrenza in itinerario di corretto tracciato:

$$\mathbf{m} = \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ \dots \\ m_T \end{pmatrix} \quad (58)$$

Dove:

- $m_1 \dots m_T$ [treni/h] sono i pesi $P_{t,c}$ associati al nodo elementare t -esimo ove avviene un taglio d'orario per il caso di percorrenza in itinerario di corretto tracciato;
- T è il numero totale dei nodi elementari t -esimi della rete in esame ove avviene un taglio d'orario.

Si definisce il vettore \mathbf{n} , dei pesi dei tagli in itinerario deviato, in cui, ad ogni nodo elementare t -esimo ove avviene un taglio d'orario, viene associato il proprio peso per il caso di percorrenza in itinerario deviato:

$$\mathbf{n} = \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \dots \\ n_T \end{pmatrix} \quad (59)$$

Dove:

- $n_1 \dots n_T$ [treni/h] sono i pesi $P_{t,c}$ associati al nodo elementare t -esimo ove avviene un taglio d'orario per il caso di percorrenza in itinerario deviato;
- T è il numero totale dei nodi elementari t -esimi della rete in esame ove avviene un taglio d'orario.

Nel modello è possibile associare, attraverso una tabella, ad ogni relazione r -esima definita l'eventuale percorrenza e modalità di percorrenza di ciascun nodo elementare.

Nella tabella è possibile inserire i valori di:

- "0" se la relazione r -esima non percorre il nodo elementare t -esimo;
- "C" se la relazione r -esima percorre il nodo elementare t -esimo in itinerario di itinerario di corretto tracciato;
- "D" se la relazione r -esima percorre il nodo elementare t -esimo in itinerario deviato.

A partire dai suddetti valori tabellari l'algorithmo restituisce le matrici \mathbf{W} e \mathbf{X} , rispettivamente dei nodi elementari percorsi in itinerario di corretto tracciato e nodi elementari percorsi in itinerario deviato.

In particolare, la matrice dei nodi elementari ove avviene un taglio d'orario in itinerario di corretto tracciato \mathbf{W} , rappresenta il legame tra le r -esime relazioni passeggeri e merci definite e i nodi elementari t -esimi percorsi in itinerario di corretto tracciato:

$$\mathbf{W} = \begin{pmatrix} w_{1,1} & w_{1,2} & \dots & w_{1,R} \\ w_{2,1} & w_{2,2} & \dots & w_{2,R} \\ \vdots & & & \\ w_{T,1} & w_{T,2} & \dots & w_{T,R} \end{pmatrix} \quad (60)$$

Agli elementi $w_{t,r}$ che la compongono viene associato il valore di:

- 1, se la relazione r -esima percorre il nodo elementare t -esimo in itinerario di corretto tracciato;
- 0, se la relazione r -esima non percorre il nodo elementare t -esimo o non lo percorre in itinerario di corretto tracciato.

La matrice dei nodi elementari percorsi in itinerario deviato \mathbf{X} , invece, rappresenta il legame tra r -esime relazioni passeggeri e merci definite e i nodi elementari t -esimi percorsi in itinerario deviato:

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \dots & x_{1,R} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \dots & x_{2,R} \\ \vdots & & & \\ x_{T,1} & x_{T,2} & \dots & x_{T,R} \end{pmatrix} \quad (61)$$

Agli elementi $x_{t,r}$ che la compongono viene associato il valore di:

- 1, se la relazione r -esima percorre il nodo elementare t -esimo in itinerario deviato;
- 0, se la relazione r -esima non percorre il nodo elementare t -esimo o non lo percorre in itinerario deviato.

Si definisce il vettore \mathbf{y}_c , del numero totale degli impegni orari in itinerario di corretto tracciato per tutte le relazioni su ciascun nodo elementare in orari di punta, dato dal prodotto matriciale:

$$\mathbf{y}_c = \mathbf{W} \times \mathbf{p} \quad (62)$$

Dove:

- \mathbf{p} è il vettore dei carichi orari in punta per le relazioni r -esime definite, definito al paragrafo 2.7.

Si definisce il vettore \mathbf{z}_c , del numero totale degli impegni orari in itinerario di corretto tracciato per tutte le relazioni su ciascun nodo elementare in orari di morbida, dato dal prodotto matriciale:

$$\mathbf{z}_c = \mathbf{W} \times \mathbf{q} \quad (63)$$

Dove:

- \mathbf{q} è il vettore dei carichi orari in morbida per le relazioni r -esime definite, definito al paragrafo 2.7.

Si definisce il vettore \mathbf{y}_d , del numero totale degli impegni orari in itinerario deviato per tutte le relazioni su ciascun nodo elementare in orari di punta, dato dal prodotto matriciale:

$$\mathbf{y}_d = \mathbf{X} \times \mathbf{p} \quad (64)$$

Dove:

- \mathbf{p} è il vettore dei carichi orari in punta per le relazioni r -esime definite, definito al paragrafo 2.7.

Si definisce il vettore \mathbf{z}_d , del numero totale degli impegni orari in itinerario deviato per tutte le relazioni su ciascun nodo elementare in orari di morbida, dato dal prodotto matriciale:

$$\mathbf{z}_d = \mathbf{X} \times \mathbf{q} \quad (65)$$

Dove:

- \mathbf{q} è il vettore dei carichi orari in morbida per le relazioni r -esime definite, definito al paragrafo 2.7.

Il numero degli impegni orari associati ai nodi elementari t -esimi, in cui avvengono i tagli di orario, definito dai vettori appena calcolati, per ciascun caso di fascia oraria e di tipologia di percorrenza analizzato, è stato quindi pesato secondo il proprio peso associato, definendo i vettori dei tagli pesati \mathbf{y}_{cp} , \mathbf{z}_{cp} , \mathbf{y}_{dp} , \mathbf{z}_{dp} . Gli elementi che compongono i suddetti vettori si calcolano applicando le equazioni di seguito:

$$\mathbf{y}_{cp,t} = \mathbf{y}_{c,t} \cdot \mathbf{m}_t \quad (66)$$

$$\mathbf{z}_{cp,t} = \mathbf{z}_{c,t} \cdot \mathbf{n}_t \quad (67)$$

$$\mathbf{y}_{dp,t} = \mathbf{y}_{d,t} \cdot \mathbf{m}_t \quad (68)$$

$$Z_{dp,t} = Z_{c,t} \cdot n_t \quad (69)$$

Dove:

- m_t sono gli elementi del vettore dei pesi in itinerario di corretto tracciato \mathbf{m} , definito all'equazione (58);
- n_t sono gli elementi del vettore dei pesi in itinerario deviato \mathbf{n} , definito all'equazione (59);
- $y_{c,t}$ sono gli elementi del vettore degli impegni orari in itinerario di corretto tracciato di punta \mathbf{y}_c , definito all'equazione (62);
- $z_{c,t}$ sono gli elementi del vettore degli impegni orari in itinerario di corretto tracciato di morbida \mathbf{z}_c , definito all'equazione (63);
- $y_{d,t}$ sono gli elementi del vettore degli impegni orari in itinerario deviato di punta \mathbf{y}_d , definito all'equazione (64);
- $z_{d,t}$ sono gli elementi del vettore degli impegni orari in itinerario deviato di morbida \mathbf{z}_d , definito all'equazione (65);

Si definiscono poi i vettori \mathbf{f} e \mathbf{g} , degli impegni dei pesi totali dati dei nodi elementari t -esimi dove avvengono tagli, sommando il contributo proveniente dall'impegno in itinerario di corretto tracciato e in itinerario deviato.

Si differenzia il caso di orari di morbida e orari di punta. In particolare gli elementi del vettore \mathbf{f} , dei pesi totali dei tagli orari su ciascun nodo elementare t -esimo in orari di punta, sono definiti come di seguito:

$$f_t = y_{cp,t} + y_{dp,t} \quad (70)$$

Dove:

- $y_{cp,t}$ sono gli elementi del vettore del peso totale degli impegni in itinerario di corretto tracciato \mathbf{y}_{cp} , definiti dall'equazione (66);
- $y_{dp,t}$ sono gli elementi del vettore del peso totale degli impegni in tracciato deviato \mathbf{y}_{dp} , definiti dall'equazione (68).

Gli elementi del vettore \mathbf{g} , dei pesi totali dei tagli orari su ciascun luogo dell'infrastruttura t -esimo in orari di morbida, sono definiti come di seguito:

$$g_t = z_{cp,t} + z_{dp,t} \quad (71)$$

Dove:

- $z_{cp,t}$ sono gli elementi del vettore del peso totale degli impegni in itinerario di corretto tracciato \mathbf{z}_{cp} , definiti dall'equazione (67);
- $z_{dp,t}$ sono gli elementi del vettore del peso totale degli impegni in tracciato deviato \mathbf{z}_{dp} , definiti dall'equazione (69).

I pesi totali degli impegni orari dei nodi elementari t -esimi su cui essi avvengono, così calcolati, sono stati poi relativizzati al peso in punta dei tagli orari che si generano a Bivio Mirabello. La scelta di tale nodo elementare come riferimento, arbitraria, è dovuta al fatto che, per tradizione, esso è conosciuto negli ambienti tecnici e ingegneristici di RFI come il punto dell'infrastruttura più congestionato del nodo di Milano, per quanto l'analisi abbia dimostrato che esistono situazioni più critiche. La relativizzazione avviene definendo i vettori dei tagli relativizzati s e t . In particolare, il vettore s , dei tagli relativizzati a Mirabello in punta, è definito come:

$$\mathbf{s} = \begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \dots \\ s_T \end{pmatrix} \quad (72)$$

Dove:

- $s_1 \dots s_T$ sono i pesi totali dei tagli orari in punta relativizzati a Bivio Mirabello associati al nodo elementare t -esimo ove avviene un *taglio d'orario*. Essi si ricavano attraverso l'equazione che segue:

$$s_t = \frac{f_t}{f_{\text{Mirabello}}} \cdot 100 \quad (73)$$

Dove:

- f_t sono gli elementi del vettore f , definiti dall'equazione (70);
- $f_{\text{Mirabello}}$ è il peso totale dei tagli orari che avvengono a Bivio Mirabello in fascia di punta.

Il vettore t , dei tagli relativizzati a Mirabello in morbida, è definito come:

$$\mathbf{t} = \begin{pmatrix} t_1 \\ t_2 \\ \dots \\ t_T \end{pmatrix} \quad (74)$$

Dove:

- $t_1 \dots t_T$ sono i pesi totali dei tagli orari in morbida relativizzati a Bivio Mirabello associati al luogo dell'infrastruttura t -esimo ove avviene un *taglio d'orario*. Essi si ricavano attraverso l'equazione che segue:

$$t_t = \frac{g_t}{f_{\text{Mirabello}}} \cdot 100 \quad (75)$$

Dove:

- g_t sono gli elementi del vettore g , definiti dall'equazione (71);
- $f_{\text{Mirabello}}$ è il peso totale dei tagli orari che avvengono a Bivio Mirabello in fascia di punta.

2.9 Rappresentazione grafica dei dati

A seguito dei calcoli svolti dall'algoritmo vengono rappresentati schematicamente i dati risultanti dall'analisi. Si rappresentano su schemi grafici della rete i dati relativi al grado di utilizzazione e i dati relativi all'impegno dei nodi elementari ove avvengono i tagli d'orario.

Capitolo 3: Scenario attuale del grado di utilizzazione

Il modello di calcolo descritto nel capitolo precedente viene applicato al caso del nodo di Milano allargato. Il presente capitolo, pertanto, descrive dapprima la rete che forma il nodo di Milano allargato, ovvero quello considerato nella presente analisi; successivamente si descrivono i dati di input relativi a carichi di traffico e infrastruttura attuali implementati nel modello; si riportano infine i dati di output del modello.

3.1 Rete analizzata

La rete considerata nell'analisi è composta primariamente dalle linee del Nodo di Milano gestite da RFI (delimitato dalle stazioni esterne di: Milano Rogoredo, Milano S. Cristoforo, Rho, Milano Bovisa FNME, Monza, Pioltello – Limite). Ad esse si aggiungono le direttrici principali afferenti al nodo di Milano (limitatamente alla giurisdizione compartimentale): Milano – Venezia (fino a Brescia); Milano – Piacenza [tradizionale] (fino a P.M. Piacenza Ovest); Milano – Genova (fino a Voghera); Milano – Novara [tradizionale] (fino a Trecate); Milano – Domodossola (fino a Sesto Calende); Milano – Chiasso. Si aggiungono infine alcune direttrici secondarie: Milano – Mortara; Treviglio – Bergamo; Milano – Lecco; Gallarate/Sesto Calende – Luino; Gallarate – Varese; Lecco – Bergamo – Rovato – Brescia; Ponte S. Pietro – Carnate Usmate; Lecco – Molteno – Monza; Molteno – Albate Camerlata.

In TAVOLA4 è evidenziato lo schema delle linee che compongono la rete analizzata.

Sono stati considerati anche i tagli d'orario che si generano sull'infrastruttura analizzata. La denominazione dei tagli adottata permette di definire con precisione il luogo in cui esso si verifica. La denominazione di ciascun taglio segue la seguente struttura generale:

[località][binario][coordinate]

Dove:

- *[località]*: è il campo che indica, in lettere, la località (stazione, bivio, etc.) ove avviene il taglio che si definisce;
- *[binario]*: è il campo che indica, in numero arabo, il binario di corretto tracciato o il prolungamento dello stesso è situato il nodo elementare che si definisce;
- *[coordinate]*: è il campo che indica in quale punto del binario o del suo prolungamento avviene il taglio che si definisce, relativamente alle coordinate geografiche di riferimento per la località. Può assumere i valori di *E* (est), *O* (ovest), *N* (nord), *S* (sud), *C* (centro), o altri che permettano di definirne la posizione.

Esempio 5: Significato della denominazione di un nodo elementare

Consideriamo la denominazione:

Lambrate 2N

Essa si riferisce al taglio che avviene nella località di Milano Lambrate (campo località: *Lambrate*), in binario II (campo binario: 2) in radice nord (campo coordinate: *N*).

L'applicazione di tale regola, tuttavia, non è rigida. In TAVOLA5 sono evidenziati i tagli, con relativa denominazione, riferiti alle località del Nodo di Milano.

3.2 Dati di input del modello

Nel presente paragrafo vengono presentati i dati di input del modello, sia dal punto di vista dei carichi di traffico sia dal punto di vista infrastrutturale.

3.2.1 Carichi di traffico

I vettori dei carichi orari in fasce di punta e in fasce di morbida, rispettivamente p e q secondo la definizione di cui al paragrafo 2.7, determinati applicando la metodologia descritta al paragrafo 2.3, sono riportati, per lo scenario attuale, in forma tabellare in TAVOLA6.

È stata successivamente compilata la matrice dei legami relazioni-tratte S secondo la definizione di cui al paragrafo 2.7, secondo i criteri di cui al paragrafo 2.3. La matrice S definita per lo scenario attuale è riportata in TAVOLA7.

La tabella che ad ogni relazione assegna l'eventuale modalità di percorrenza di ciascun nodo elementare, generata applicando la metodologia descritta al paragrafo 2.3, dalla quale dipendono le matrici W e X (secondo la definizione di cui al paragrafo 2.8), compilate automaticamente dal modello, è riportata, per lo scenario attuale, in TAVOLA8.

3.2.2 Dati infrastrutturali

I valori della capacità teorica di ciascuna linea Kt_l , delle tracce di sfrido per ciascuna linea a doppio binario eterotachiche T_l e delle tracce di sfrido per linee a semplice binario dotate di PBI $T_{l,PBI}$ (sia per il caso di fasce di punta sia per il caso di fasce di morbida), determinati secondo i criteri di cui ai paragrafi 2.4, 2.5 e 2.6, necessari alla determinazione del grado di utilizzazione di ciascuna linea, sono riportati in forma

tabellare, per lo scenario attuale, nelle prime colonne di TAVOLA9.

I vettori degli impegni dei nodi elementari in itinerario di corretto tracciato e in itinerario deviato, rispettivamente m e n , secondo la definizione di cui al paragrafo 2.8, determinati applicando la metodologia descritta, per lo scenario attuale, sono riportati in forma tabellare in TAVOLA10.

3.3 Grado di utilizzazione

I valori del grado di utilizzazione in fasce di punta e di morbida, rispettivamente U_l e V_l , calcolati secondo la metodologia descritta al paragrafo 2.7, sono riportati, per lo scenario attuale, nelle ultime colonne di TAVOLA9. I dati sono rappresentati graficamente in TAVOLA11 per il caso di fasce di punta e in TAVOLA12 per il caso di fasce di morbida. Nelle tavole citate la percezione visiva del grado di utilizzazione è agevolata dall'utilizzo di gradazioni cromatiche differenti per ciascun intervallo di valori. La definizione entro cui rientra ogni gradazione cromatica è definita in legenda.

I vettori dei gradi di utilizzazione dei tagli relativizzati in fasce di punta e in fasce di morbida, rispettivamente s e t , calcolati secondo la metodologia descritta al paragrafo 2.8, sono riportati, per lo scenario attuale, in TAVOLA13. I dati sono rappresentati graficamente, limitatamente alle località del Nodo di Milano, in TAVOLA14 per il caso di fasce di punta e in TAVOLA15 per il caso di fasce di morbida. Nelle tavole citate la percezione visiva dei gradi di utilizzazione relativizzati dei tagli è agevolata dall'utilizzo di gradazioni cromatiche differenti per ciascun intervallo di valori. La definizione entro cui rientra ogni gradazione cromatica è definita in legenda.

3.4 Analisi del grado di utilizzazione riferito allo scenario attuale

Nel paragrafo di seguito si analizza e si commenta il grado di utilizzazione di linee e tagli calcolato secondo la procedura descritta, con particolare attenzione ai casi in cui esso si presenta superiore al 95%.

3.4.1 Linea Gallarate – Laveno

La linea Gallarate – Laveno è caratterizzata da grado di utilizzazione superiore al 95% per fasce orarie di punta e compreso tra il 75% e il 95% nelle fasce di morbida. L'infrastruttura è a semplice binario, con BCA, e la sezione critica è caratterizzata da:

$K_{t,l} = 5$ (definizione di cui al paragrafo 2.4).

Il traffico è composto da una buona componente di treni merci, con origine/destinazione Milano, il terminal “Hupac” di Gallarate, la Svizzera (Canton Ticino) e l’Oltralpe. Il traffico è composto inoltre da servizi ferroviari viaggiatori di categoria R tra Luino/Bellinzona e Gallarate/Malpensa Aeroporto e alcuni servizi di rinforzo in fasce di punta.

L’alto grado di utilizzazione è dovuto quindi a un carico di traffico sostenuto, soprattutto di categoria merci, su una infrastruttura caratterizzata da bassa capacità, dovuta al semplice binario e ad un basso valore di $K_{t,l}$.

3.4.2 Linea Sesto Calende – Laveno

La linea Sesto Calende – Laveno è caratterizzata da grado di utilizzazione superiore al 95% per fasce orarie di punta e inferiore al 60% nelle fasce di morbida.

L’infrastruttura è a semplice binario, con BCA, e la sezione critica è caratterizzata da:

$K_{t,l} = 4$ (definizione di cui al paragrafo 2.4).

Il traffico è composto da una buona componente di treni merci, con origine/destinazione Milano, il terminal “Hupac” di Gallarate, la Svizzera (Canton Ticino) e l’Oltralpe. La linea, infatti, viene utilizzata come alternativa, per i servizi merci, alla Gallarate – Laveno, per rendere meno gravoso il carico di traffico su una tratta percorsa anche da una buona componente di servizi ferroviari passeggeri.

Il traffico è composto inoltre da sporadici servizi ferroviari viaggiatori di categoria R tra Luino/Laveno e Novara, non cadenzati e solo in fasce di punta.

L’alto grado di utilizzazione in fasce di punta è dovuto soprattutto a una bassa capacità infrastrutturale, dovuta al semplice binario e a un e un basso valore di $K_{t,l}$.

3.4.3 Linea Laveno – Luino

La linea Laveno – Luino è caratterizzata da grado di utilizzazione superiore al 95% per fasce orarie di punta e di morbida.

L’infrastruttura è a semplice binario, con BCA, e la sezione critica è caratterizzata da:

$K_{t,l} = 5$ (definizione di cui al paragrafo 2.4).

Il traffico è composto da una buona componente di treni merci, con origine/destinazione Milano, il terminal “Hupac” di Gallarate, la Svizzera (Canton Ticino) e l’Oltralpe (sia quelli stradati via Ternate sia via Ispra). Il traffico è composto inoltre da servizi ferroviari viaggiatori di categoria R tra Luino/Bellinzona e Gallarate/Malpensa Aeroporto ed alcuni servizi di rinforzo in fasce di punta.

L’alto grado di utilizzazione è dovuto quindi a un carico di traffico sostenuto, soprattutto di categoria merci (confluente da due linee), su una infrastruttura caratterizzata da bassa capacità, dovuta al semplice binario e ad un basso valore di $K_{t,1}$.

3.4.4 Linea Rho – Gallarate

La linea Rho – Gallarate è caratterizzata da grado di utilizzazione superiore al 95% per fasce orarie di punta e compreso tra il 75% e il 95% nelle fasce di morbida.

L’infrastruttura è a doppio binario, con BAB, e caratterizzata da:

$K_{t,1} = 11$ (definizione di cui al paragrafo 2.4).

Il traffico è composto da servizi merci da e per la Svizzera via Luino e via Sempione oltre che da/ per Milano e il terminal “Hupac” di Gallarate; vi sono inoltre servizi EC Milano – Berna / Ginevra cadenzati con frequenza bioraria, servizi RE Varese – Milano, servizi RV Domodossola/Arona – Milano, servizi RE Domodossola – Milano, servizi S5 Varese – Treviglio, servizi R spot da e per Luino solo in orari di punta.

L’alto grado di utilizzazione è dovuto quindi a un carico di traffico sostenuto e alla presenza di 3 livelli di velocità (EC, RE + REX, S + Merci) che, unitamente alle caratteristiche infrastrutturali della tratta in relazione alla possibilità di effettuare operazioni di precedenza, determina un valore di tracce di sfrido (si veda il paragrafo 2.5):

$T_1 = 1$.

3.4.5 Linea Monza – Seregno

La linea Monza – Seregno è caratterizzata da grado di utilizzazione superiore al 95% per fasce orarie di punta e compreso tra il 75% e il 95% nelle fasce di morbida.

L’infrastruttura è a doppio binario, con BAB, e caratterizzata da:

$K_{t,1} = 11$ (definizione di cui al paragrafo 2.4).

Il traffico è composto da servizi merci, servizi EC Milano – Zurigo, servizi RE Bellinzona/Chiasso – Milano, servizi S11 Chiasso – Milano, servizi S9 Saronno – Albairate.

L'alto grado di utilizzazione è dovuto quindi a un carico di traffico sostenuto e alla presenza di 2 livelli di velocità (EC + RE, S + Merci) che, unitamente alle caratteristiche infrastrutturali della tratta in relazione alla possibilità di effettuare operazioni di precedenza, determina un valore di tracce di sfrido (si veda il paragrafo 2.5):

$$T_1 = 2.$$

3.4.6 Linea Monza – Molteno

La linea Monza – Molteno è caratterizzata da grado di utilizzazione superiore al 95% per le fasce orarie di punta e compreso tra il 60% e il 75% nelle fasce di morbida.

L'infrastruttura è a semplice binario, con BEM, e la sezione critica è caratterizzata da:

$K_{t,l} = 3$ (definizione di cui al paragrafo 2.4) per la tratta Monza – Besana;

$K_{t,l} = 4$ (definizione di cui al paragrafo 2.4) per la tratta Besana – Molteno.

Il traffico è composto da servizi ferroviari viaggiatori S7 Lecco – Besana – Milano.

L'alto grado di utilizzazione in fasce di punta è dovuto a una infrastruttura caratterizzata da bassa capacità, dovuta al semplice binario e un basso valore di $K_{t,l}$.

3.4.7 Linea Pioltello – P.M. Adda

La linea Pioltello – P.M. Adda via DD²⁶ è caratterizzata da grado di utilizzazione superiore al 95% per fasce orarie di punta e compreso tra il 60% e il 75% nelle fasce di morbida. La linea Pioltello – P.M. Adda via LL²⁷, invece è caratterizzata da un grado di utilizzazione inferiore al 60% per tutto l'arco della giornata.

L'infrastruttura è a doppio binario, con BAB, e caratterizzata, per entrambe le linee (via DD e via LL), da:

²⁶ DD: abbreviativo che indica la “linea diretta”. Utilizzato per le direttrici su cui l'infrastruttura è suddivisa in due linee specializzate per tipologia di traffico, DD indica la linea su cui circolano i servizi “veloci” che percorrono la direttrice (es.: RV, IC, ES...).

²⁷ LL: abbreviativo che indica la “linea lenta”. Utilizzato per le direttrici su cui l'infrastruttura è suddivisa in due linee specializzate per tipologia di traffico, LL indica la linea su cui circolano i servizi “lenti” che percorrono la direttrice (es.: S, merci...).

$K_{t,1} = 11$ (definizione di cui al paragrafo 2.4).

Il traffico sulla linea DD è composto da servizi merci, EC Milano – Venezia, RE Milano – Verona, RV Sesto S. Giovanni – Brescia, RV Milano – Treviglio – Cremona, RE Bergamo – Milano. Il traffico sulla linea LL è caratterizzato da servizi S5 Treviglio – Varese, da servizi S6 Treviglio – Novara, e da sporadici servizi merci.

L'alto grado di utilizzazione della linea DD è dovuto, oltre che dall'alto carico di traffico, anche da una sproporzionata ripartizione del carico di traffico totale delle linee, tra linea LL e linea DD. Sulla linea DD, infatti, circolano molti servizi merci che, per le loro caratteristiche di livello di velocità, troverebbero una miglior collocazione istradati sulla linea LL.

3.4.8 Linea Milano Rogoredo – Lodi – Codogno

La linea Milano Rogoredo – Bivio Melegnano via DD è caratterizzata da grado di utilizzazione superiore al 95% per fasce orarie di punta e compreso tra il 75% e il 95% nelle fasce di morbida. La linea Tavazzano – Codogno è caratterizzata da grado di utilizzazione superiore al 95% per fasce orarie di punta e compreso tra il 75% e il 95% nelle fasce di morbida (fatta eccezione per il tratto Tavazzano – Lodi che, anche in fasce di morbida, presenta un grado di utilizzazione superiore al 95%).

L'infrastruttura è a doppio binario, con BAB, e caratterizzata da:

$K_{t,1} = 10$ (definizione di cui al paragrafo 2.4) per la linea Milano Rogoredo – Bivio Melegnano via DD e per la linea Tavazzano – Lodi – Codogno;

$K_{t,1} = 11$ (definizione di cui al paragrafo 2.4) per la linea Milano Rogoredo – Tavazzano via LL.

Il traffico, sulla linea Milano Rogoredo – Bivio Melegnano, è composto da servizi merci, servizi AV Milano Centrale – Roma – Napoli, AV Torino – Milano P. Garibaldi – Roma – Napoli (effettuati da Trenitalia), AV Torino – Milano P. Garibaldi – Roma – Napoli (effettuati da NTV), AVfast Milano Centrale – Roma – Napoli, ESC Milano – Ancona – Lecce, IC Milano – Bologna – Firenze – Roma, RE Milano – Bologna, RE Milano – Mantova. Sulla linea Tavazzano – Lodi il traffico è caratterizzato dai servizi precedentemente elencati (esclusi i servizi AV), dai servizi RV Milano Greco Pirelli – Piacenza, dai servizi S1 Saronno – Lodi e dai servizi merci provenienti da Milano e

istradati via Melegnano (LL). La tratta Lodi – Codogno è percorsa dagli stessi servizi che percorrono la linea Tavazzano – Lodi ad esclusione dei servizi S1 e con aggiunta, limitatamente alla tratta Casalpusterlengo – Codogno, dei servizi R Pavia – Codogno.

L'alto grado di utilizzazione è dovuto all'alto carico di traffico di cui la linea è caratterizzata. Questo vale, in particolare, per la tratta Tavazzano – Lodi, che viene percorsa dai servizi S1 e RV provenienti dalla via LL, dai servizi RE, IC e EScity provenienti dalla via DD, oltre che dai servizi merci.

3.4.9 Linea Milano Rogoredo – Pavia

La linea Milano Rogoredo – Pavia è caratterizzata da grado di utilizzazione superiore al 95% per fasce orarie di punta e compreso tra il 75% e il 95% nelle fasce di morbida.

L'infrastruttura è a doppio binario, con BAB, e caratterizzata da:

$K_{t,1} = 11$ (definizione di cui al paragrafo 2.4).

Il traffico è composto da servizi merci, IC Milano – Genova – Ventimiglia / Livorno, RE Milano – Genova / Alessandria, RV Stradella – Milano, S13 Milano Bovisa – Pavia.

L'alto grado di utilizzazione è dovuto a un carico di traffico sostenuto e, soprattutto, alla presenza di 3 livelli di velocità (IC, RE + RV, S + Merci) che, unitamente alle caratteristiche infrastrutturali della tratta in relazione alla possibilità di effettuare operazioni di precedenza, determina un valore di tracce di sfrido (si veda il paragrafo 2.5):

$T_1 = 3$.

3.4.10 Linee del nodo di Milano

Le linee interne al nodo di Milano che presentano un grado di utilizzazione superiore al 95% in fasce orarie di punta sono: Milano Rogoredo – P.M. Trecca via “merci”, P.M. Trecca – Milano Lambrate via “Cintura”, Milano Lambrate – Milano Greco Pirelli, Milano Greco Pirelli – Sesto S. Giovanni via “Chiasso”, Milano Porta Garibaldi – Bivio Mirabello, Milano Porta Garibaldi – P.M. Ghisolfia via “Novara”.

Tutte le linee citate hanno infrastruttura caratterizzata da doppio binario, con BAB, e un valore di capacità teorica:

$K_{t,1} = 11$ (definizione di cui al paragrafo 2.4).

L'alto grado di utilizzazione è dovuto, in ogni caso, all'alto carico di traffico di cui ciascuna linea è caratterizzata e alla bassa capacità infrastrutturale di cui sono caratterizzate le linee. Pur essendo linee di un nodo urbano, infatti, hanno la stessa capacità infrastrutturale di molte linee principali esterne al nodo.

3.4.11 Linee molto eterotachiche con vincoli infrastrutturali per operazioni di precedenza

Esistono alcuni casi di linee nelle quali il carico di traffico non è sostenuto, ma tuttavia si ottiene un alto grado di utilizzazione a causa di eterotachia e di vincoli infrastrutturali in relazione alla possibilità di effettuare operazioni di precedenza che determinano un alto valore di tracce di sfrido. Si citano i seguenti casi:

linea Milano S. Cristoforo – Albairate, con $T_1 = 6$;

linea Gallarate – Varese, con $T_1 = 4$;

linea Carnate – Calolziocorte, con $T_1 = 4$.

3.4.12 Tagli di Milano Certosa in radice est, linee “viaggiatori” e “Novara”

I tagli di Milano Certosa in radice est presentano un grado di utilizzazione relativizzato a Bivio Mirabello superiore al 100% in fasce di punta e compreso tra 75% e 95% in fasce di morbida.

Essi sono costituiti da punti di interferenza con deviate a 30km/h e da comunicazione semplice.

La comunicazione viene percorsa in itinerario deviato da tutti i flussi di traffico della linea Milano Porta Garibaldi (via Novara) – Rho (via AV), cioè da tutti i servizi AV Torino – Milano P. Garibaldi – Roma, sia di Trenitalia sia di NTV, e dai servizi spot Torino – Milano Porta Garibaldi. I punti di interferenza vengono percorsi in itinerario di corretto tracciato da tutti i flussi di traffico della linea Milano Centrale (via viaggiatori) – Rho (via AV) per quel che riguarda le interferenze lungo la linea “viaggiatori”, ovvero i servizi AV Torino – Milano Centrale – Roma – Napoli, i servizi ESC Torino – Milano – Venezia, gli EC Milano – Domodossola, gli RE Torino – Milano e gli RE Domodossola – Milano. Per quel che riguarda la linea “Novara” i punti di interferenza vengono percorsi in itinerario di corretto tracciato dai flussi della linea Milano Porta Garibaldi – Rho (via Novara), ovvero i servizi RE Milano P. Garibaldi – Varese, i servizi RV Domodossola/Arona –

Milano P. Garibaldi, i servizi R spot Luino – Milano P. Garibaldi.

L'alto grado di utilizzazione è dovuto alla tipologia di comunicazione che, essendo a semplice binario, viene percorsa dai flussi di traffico in entrambe le direzioni, al basso valore di velocità massima dei percorsi deviati (30 km/h), e all'alto carico di flussi di traffico che percorrono le interferenze in itinerario di corretto tracciato.

3.4.13 Tagli di Milano Porta Garibaldi in radice ovest, linea “Novara”

Il taglio di Milano Porta Garibaldi in radice ovest sulla linea “Novara” presenta un grado di utilizzazione relativizzato a Bivio Mirabello superiore al 100% in fasce di punta e inferiore al 60% in fasce di morbida.

Esso è costituito da un punto di interferenza con deviate a 30km/h.

È percorso in itinerario deviato dai flussi di traffico provenienti dalla linea “Novara” e diretti al fascio passante, ovvero tutti i servizi AV Torino – Milano P. Garibaldi – Roma, sia di Trenitalia sia di NTV. Viene percorso inoltre in tracciato interferente da tutti i flussi di traffico provenienti dalla linea “Novara” e diretti al fascio tronco, ovvero i servizi RE Milano P. Garibaldi – Bergamo (via Treviglio), i servizi RE Milano P. Garibaldi – Cremona (via Treviglio), i servizi RE Milano P. Garibaldi – Varese, i servizi RV Domodossola/Arona – Milano P. Garibaldi, i servizi R spot Luino – Milano P. Garibaldi.

L'alto grado di utilizzazione è dovuto al basso valore di velocità massima dei percorsi deviati (30 km/h), e all'alto carico di flussi di traffico che percorrono le interferenze in itinerario di tracciato interferente, soprattutto in fasce di punta.

3.4.14 Tagli di Milano Porta Garibaldi in radice est

Il taglio di Milano Porta Garibaldi in radice est sulla linea Milano – Lecco presenta un grado di utilizzazione relativizzato a Bivio Mirabello superiore al 100% in fasce di punta e in fasce di morbida.

Esso è costituito da un punto di interferenza con deviate a 30km/h.

È percorso in itinerario deviato dai flussi di traffico provenienti da Milano Porta Garibaldi e diretti a Bivio Mirabello, ovvero tutti i servizi AV Torino – Milano P. Garibaldi – Roma, sia di Trenitalia sia di NTV, i servizi RE Malpensa – Milano Centrale, i servizi R Milano P. Garibaldi – Bergamo (via Carnate), i servizi S11 Milano P. Garibaldi – Chiasso, i

servizi S7 Milano P. Garibaldi – Lecco (via Molteno), i servizi S8 Milano P. Garibaldi – Lecco.

L'alto grado di utilizzazione è dovuto al basso valore di velocità massima dei percorsi devianti (30 km/h), e all'alto carico di flussi di traffico che percorrono le interferenze in itinerario deviato.

3.4.15 Taglio di Milano Greco Pirelli in radice sud, linea “Cintura”

Il taglio di Milano Greco Pirelli in radice sud sulla linea “Cintura” presenta un grado di utilizzazione relativizzato a Bivio Mirabello superiore al 100% in fasce di punta e compreso tra 75% e 95% in fasce di morbida.

Esso è costituito da un punto di interferenza con deviate a 30km/h.

È percorso in itinerario di corretto tracciato da tutti i servizi della linea Milano Lambrate – Monza, ovvero i servizi merci provenienti dal nodo di Milano verso Lecco o Chiasso, i servizi S9 Saronno – Albairate e i servizi RV Sesto S. Giovanni – Brescia. È percorso in itinerario deviato dai servizi RV Milano Greco Pirelli – Pavia – Stradella e dai servizi RV Milano Greco Pirelli – Piacenza.

L'alto grado di utilizzazione è dovuto al basso valore di velocità massima dei percorsi devianti (30 km/h), e all'alto carico di flussi di traffico che percorrono l'interferenza in itinerario di corretto tracciato e in itinerario deviato.

3.4.16 Tagli di Sesto S. Giovanni in radice sud, linea “Chiasso”

I tagli di Sesto S. Giovanni in radice sud sulla linea “Chiasso” presentano un grado di utilizzazione relativizzato a Bivio Mirabello superiore al 100% in fasce di punta e compreso tra 75% e 95% in fasce di morbida.

Essi sono costituito da punti di interferenza con deviate a 30km/h.

Sono percorsi in itinerario di corretto tracciato dai servizi merci provenienti dal nodo di Milano verso Chiasso, dai Servizi EC Milano – Chiasso – Zurigo, dai servizi RE Milano – Chiasso – Bellinzona, dai servizi RE Milano – Lecco – Tirano, dai metà dei servizi S11 Chiasso – Milano P. Garibaldi (servizi di rinforzo che portano la frequenza a 30' nelle fasce di punta) e dai servizi S9 Saronno – Albairate. Sono percorsi in itinerario deviato dai servizi merci Lecco – Milano Smistamento, dai servizi RV Sesto S. Giovanni –

Brescia e da metà dei servizi S11 Chiasso – Milano P. Garibaldi (servizi base con frequenza oraria tutto il giorno).

L'alto grado di utilizzazione è dovuto al basso valore di velocità massima dei percorsi devianti (30 km/h), e all'alto carico di flussi di traffico che percorrono le interferenze in itinerario di corretto tracciato e in itinerario deviato.

3.4.17 Taglio di Milano Lambrate in radice nord, linea “Cintura”

Il taglio di Milano Lambrate in radice nord sulla linea “Cintura” presenta un grado di utilizzazione relativizzato a Bivio Mirabello superiore al 100% in fasce di morbida e in fasce di punta.

Esso è costituito da un punto di interferenza con deviate a 60km/h.

È percorso in itinerario di corretto tracciato da tutti i servizi della linea Milano Smistamento – Monza, ovvero i servizi merci provenienti da Milano Smistamento verso Lecco o Chiasso, e i servizi RV Sesto S. Giovanni – Brescia. È percorso in itinerario deviato dai servizi della linea Milano Rogoredo – Milano Greco Pirelli, ovvero dai servizi merci provenienti da Milano Rogoredo verso Lecco o Chiasso, dai servizi S9 Saronno – Albairate, dai servizi RV Milano Greco Pirelli – Pavia – Stradella e dai servizi RV Milano Greco Pirelli – Piacenza.

L'alto grado di utilizzazione è dovuto all'alto carico di flussi di traffico che percorrono l'interferenza in itinerario di corretto tracciato e in itinerario deviato.

3.4.18 Taglio di Pioltello in radice ovest, linea “DD”

Il taglio di Pioltello in radice ovest presenta un grado di utilizzazione relativizzato a Bivio Mirabello superiore al 100% in fasce di punta e compreso tra 75% e 95% in fasce di morbida.

Esso è costituito da un punto di interferenza con deviate a 60km/h.

È percorso in itinerario di corretto tracciato dai servizi della linea Milano – Venezia via DD, ovvero EC Milano – Venezia, RE Milano – Verona, RV Milano – Treviglio – Cremona, RE Bergamo – Milano. È percorso in itinerario deviato dai servizi della linea Milano Smistamento – Venezia, ovvero dai servizi merci e dai servizi RV Sesto S. Giovanni – Brescia.

L'alto grado di utilizzazione è dovuto all'alto carico di flussi di traffico che percorrono l'interferenza in itinerario di corretto tracciato e in itinerario deviato.

3.4.19 Taglio di Monza in radice sud, linea “Lecco”

Il taglio di Monza in radice sud (linea “Lecco”) presenta un grado di utilizzazione relativizzato a Bivio Mirabello superiore al 95% in fasce di punta e inferiore al 60% in fasce di morbida.

Esso è costituito da un punto di interferenza con deviate a 30km/h.

È percorso in itinerario di corretto tracciato dai servizi R Milano P. Garibaldi – Bergamo (via Carnate), dai servizi S8 Milano P. Garibaldi – Lecco, e dai servizi merci Lecco – Milano. È percorso in itinerario deviato dai servizi RE Milano – Lecco – Tirano e dai servizi S11 Milano P. Garibaldi – Chiasso di rinforzo (solo negli orari di punta).

L'alto grado di utilizzazione è dovuto al basso valore di velocità massima dei percorsi devianti (30 km/h) dalla presenza di comunicazioni a semplice binario percorse in entrambi i sensi, e all'alto carico di flussi di traffico che percorrono l'interferenza in itinerario di corretto tracciato e in itinerario deviato, soprattutto in fasce di punta quando buona parte dei servizi che la percorrono raddoppiano la frequenza.

3.4.20 Taglio di Brescia in radice ovest

Il taglio di Brescia in radice ovest presenta un grado di utilizzazione relativizzato a Bivio Mirabello superiore al 95% in fasce di punta e compreso tra il 60% e il 75% in fasce di morbida.

Esso è costituito da un punto di interferenza con deviate a 30km/h.

È percorso in itinerario di corretto tracciato dai servizi ESC Milano Venezia, dai servizi RE Milano Brescia – Verona e dai servizi merci che non passano da Brescia Scalo. È percorso in itinerario deviato dai servizi R Bergamo – Brescia e dai servizi RV Brescia – Sesto S. Giovanni.

L'alto grado di utilizzazione è dovuto al basso valore di velocità massima dei percorsi devianti (30 km/h), e all'alto carico di flussi di traffico che percorrono l'interferenza in itinerario di corretto tracciato e in itinerario deviato (per gli attestamenti), soprattutto in fasce di punta quando buona parte dei servizi che la percorrono raddoppiano la frequenza.

3.5 Osservazioni sul grado di utilizzazione riferito allo scenario attuale

Lo scenario attuale presenta un grado di utilizzazione elevato su alcune linee interne ed esterne al Nodo di Milano. I motivi si riconducono principalmente ad alto carico di traffico e a ridotta capacità infrastrutturale delle linee interessate. In particolare, per alcune linee a semplice binario, la bassa densità di località di servizio in cui sia possibile effettuare operazioni di incrocio, associata ad un alto carico di traffico, innalza significativamente il valore del grado di utilizzazione. Non mancano inoltre casi di linee a doppio binario in cui la concomitanza di un'infrastruttura rigida, con elevate distanze tra le località in cui poter effettuare operazioni di precedenza, unitamente all'eterotachia della tratta, determina un alto valore di grado di utilizzazione.

Per quel che riguarda i tagli si riscontrano casi di alta utilizzazione solo internamente al nodo di Milano, a parte qualche raro caso esterno. I motivi sono dovuti a limiti infrastrutturali, ovvero tratti di infrastruttura percorribili in deviata solo a 30 km/h, e all'alto carico di traffico che percorre i suddetti tratti.

Capitolo 4: Scenario a regime del grado di utilizzazione

A seguito dell'analisi condotta per lo scenario infrastrutturale e di modello di esercizio attuali, si prende in considerazione lo scenario futuro di regime. Si elencano e analizzano sinteticamente dapprima gli interventi di potenziamento infrastrutturale prevista nei programmi di RFI e implementati nel modello, e le modifiche previste al modello di esercizio. Sulla base delle suddette modifiche viene condotto il calcolo del grado di utilizzazione con procedimento analogo a quello descritto nei capitoli precedenti.

4.1 Interventi di potenziamento infrastrutturale implementati nel modello

Si elencano e analizzano sinteticamente gli interventi infrastrutturali in previsione e in fase di attuazione nello scenario infrastrutturale analizzato, con particolare attenzione ai parametri necessari al buon funzionamento del modello di calcolo. Non vengono considerati, in questa analisi, gli interventi infrastrutturali previsti sulla rete che non influenzano il modello di calcolo.

4.1.1 Nuova linea AV Bivio Adda – Brescia Scalo

La linea, in fase di realizzazione, fa parte del progetto di collegamento, attraverso rete AV/AC²⁸, di Milano con Venezia.

La linea sarà a doppio binario elettrificato a corrente alternata a 2 x 25 kV e frequenza 50 Hz. Il regime di circolazione è governato da sistema ERTMS/ETCS²⁹ di 2° livello³⁰.

L'infrastruttura avrà origine dai binari I e II di Bivio Adda (itinerario di corretto tracciato attuale della Treviglio – Pioltello via DD), senza generare interferenze con la restante infrastruttura grazie al già realizzato scavalco, e avrà termine a Brescia Scalo, innestandosi sulla linea Bivio Mella – Brescia Scalo. Non sono previste stazioni o posti di movimento lungo la linea.

La linea verrà percorsa dai servizi ESC Milano – Venezia, che non percorreranno più,

²⁸ AV/AC: Alta Velocità / Alta Capacità; linea ferroviaria con caratteristiche tecnologiche di gestione del traffico e di tracciato tali da consentire velocità elevate (fino a 300 km/h) e capacità superiore a una linea convenzionale.

²⁹ ERTMS/ETCS: European Rail Traffic Management System / European Train Control System; sistema di gestione, controllo e protezione del traffico ferroviario che unifica gli ATP/ATC esistenti, progettato per garantire l'interoperabilità europea.

³⁰ Il distanziamento dei treni, nel sistema ERTMS/ETCS di 2° livello, viene gestito tramite un sistema basato su trasmissione radio continua, tra i treni e un posto centrale, delle informazioni sulla marcia.

quindi, la linea tradizionale Treviglio – Rovato – Brescia. Per le caratteristiche tecniche di alimentazione e di segnalamento di cui la linea sarà dotata, l'impresa ferroviaria Trenitalia prevede di adottare, come materiale rotabile per i servizi ESC Milano – Venezia, elettrotreni tipo ETR500, atti a linee con alimentazione a 2 x 25 kV e segnalamento ERTMS di 2° livello, e omologati per velocità massima di 300 km/h.

La specifica di distanziamento definita per la linea, applicando l'equazione (39) è di:

$S_1 = D_{n1}$; poiché la linea è a doppio binario (si vedano i paragrafi 2.4 e 1.2.3)

$D_{n1} = 6,5$ min, desunto dalla documentazione relativa al modello di esercizio previsto; perciò:

$S_1 = 6,5$ min .

La nuova infrastruttura determina l'originarsi di un nuovo punto di taglio a Brescia Scalo, tra i flussi di traffico provenienti da Bivio Mella e diretti a Brescia Scalo e Brescia e i flussi provenienti dalla nuova infrastruttura. Il tratto di infrastruttura interessato dal taglio ha caratteristiche per essere percorso, in deviata, a una velocità di 30 km/h. Si ipotizza una specifica di interferenza in itinerario di corretto tracciato, rifacendosi al caso generale più frequente sulla rete, pari a:

$S_{p_{t,corr.}} = 3$ min (si veda la definizione in equazione (57))

Da cui si ottiene, come elemento del vettore dei pesi dei tagli in itinerario di corretto tracciato, il valore di:

$m_t = 3$; (si veda la definizione del vettore al paragrafo 2.8).

Facendo riferimento al caso generale, per quel che riguarda i tagli e le specifiche di interferenza in deviata (cfr. paragrafi 1.2.6 e 2.8), si ottiene, come elemento del vettore dei pesi dei tagli in itinerario deviato, il valore di:

$n_t = 5,5$; (si veda la definizione del vettore al paragrafo 2.8).

In concomitanza con la realizzazione della nuova infrastruttura, è prevista la velocizzazione dei deviatori in località di Bivio Mella, pertanto il taglio che ivi si genera tra i flussi diretti a Brescia e quelli diretti a Brescia Scalo avrà caratteristiche per essere percorso, in deviata, a una velocità di 60 km/h. Si ipotizza una specifica di interferenza in itinerario di corretto tracciato, rifacendosi al caso generale più frequente sulla rete, pari a:

$S_{p_{t,corr.}} = 3$ min (si veda la definizione in equazione (57))

Da cui si ottiene, come elemento del vettore dei pesi dei tagli in itinerario di corretto tracciato, il valore di:

$m_t = 3$; (si veda la definizione del vettore al paragrafo 2.8).

Facendo riferimento al caso generale, per quel che riguarda i tagli e le specifiche di interferenza in deviata (cfr. paragrafi 1.2.6 e 2.8), si ottiene, come elemento del vettore dei pesi dei tagli in itinerario deviato, il valore di:

$n_t = 3,5$; (si veda la definizione del vettore al paragrafo 2.8).

4.1.2 Nuova linea Varese – Arcisate – P. Ceresio / Stabio

La linea, in fase di realizzazione, è concepita per ripristinare il collegamento ferroviario tra Varese e Porto Ceresio e per creare una connessione veloce tra la Svizzera, in particolare il Canton Ticino, e l'aeroporto internazionale di Malpensa.

L'infrastruttura avrà origine dal III binario di Varese. La linea sarà a semplice binario tra Varese e P.P. Induno, con BCA e PBI in posizione centrale, senza stazioni o posti movimento lungo la tratta; questa tratta ricalca quasi interamente il vecchio tracciato della linea Varese – Porto Ceresio. La linea diventerà a doppio binario tra P.P. Induno e il confine di stato, con BCA; in questa tratta è previsto il ripristino della fermata di Induno Olona, la nuova fermata di Arcisate, il Posto Movimento Bevera, e la nuova fermata di Gaggiolo. La tratta P.P. Induno – P.M. Bevera ricalca quasi interamente il vecchio tracciato della linea Varese – Porto Ceresio, con raddoppio del binario. La tratta P.M. Bevera – confine di Stato, invece, è di nuova progettazione. Il tronco per Porto Ceresio, che ricalca interamente il vecchio tracciato, si dirama a P.M. Bevera ed è a semplice binario con BCA; in questa tratta è previsto il ripristino della fermata di Bisuschio.

La linea verrà percorsa dai servizi RE Milano P. Garibaldi – Varese, prolungati fino a Porto Ceresio, dai servizi di nuova istituzione S50 Bellinzona – Varese – Malpensa, dai servizi di nuova istituzione S40 Gallarate – Varese – Mendrisio – Chiasso – Molteno e dai servizi di nuova istituzione RV spot Bellinzona – Mendrisio – Varese – Malpensa. Per i dettagli su ciascun servizio di nuova istituzione o modificato rispetto alle caratteristiche attuali si rimanda al paragrafo 4.2.

La specifica di distanziamento per la tratta Varese – P.P. Induno, applicando l'equazione (40), è definita come:

$S_1 = D_{p1}$; in quanto la linea è a semplice binario con PBI (si veda il paragrafo 2.4);

$D_{p1} = T_{p1} + 2 \text{ min}$; in quanto la linea è in BCA (si vedano i paragrafi 2.4 e 1.2.3); perciò:

$T_{p1} = \text{sblocco} = 4 \text{ min}$; desunto dalla documentazione relativa al modello di esercizio previsto; perciò:

$S_1 = 6 \text{ min}$.

La specifica di distanziamento per la tratta P.P. Induno – P.M. Bevera, applicando l'equazione (40), è definita come:

$S_1 = D_{p1}$; in quanto la linea è a doppio binario (si veda il paragrafo 2.4);

$D_{p1} = T_{p1} + 2 \text{ min}$; in quanto la linea è in BCA (si vedano i paragrafi 2.4 e 1.2.3); perciò:

$T_{p1} = \text{sblocco} = 4 \text{ min}$; desunto dalla documentazione relativa al modello di esercizio previsto; perciò:

$S_1 = 6 \text{ min}$.

Analogamente, per la tratta P.M. Bevera – confine di stato, si ottiene:

$T_{p1} = \text{sblocco} = 4 \text{ min}$;

$S_1 = 6 \text{ min}$;

La specifica di distanziamento per la tratta P.M. Bevera – Porto Ceresio, applicando l'equazione (40), è definita come:

$S_1 = \max(T_{p1} + z_1 ; D_{p1})$; con:

$T_{p1} = \text{sblocco} = 11 \text{ min}$; desunto dalla documentazione relativa al modello di esercizio previsto;

$D_{p1} = T_{p1} + 2 \text{ min}$; in quanto la linea è in BCA (si vedano i paragrafi 2.4 e 1.2.3);

$z_1 = 2 \text{ min}$, considerando il caso standard (si vedano i paragrafi 2.4 e 1.2.4); perciò:

$S_1 = 6 \text{ min}$;

La nuova infrastruttura determina l'originarsi di un nuovo punto di taglio in corrispondenza di P.M. Bevera, tra i flussi in direzione Porto Ceresio e quelli in direzione confine di stato, Mendrisio. Il tratto di infrastruttura interessato dal taglio ha caratteristiche per essere percorso, in deviazione, a una velocità di 60 km/h. Per analogia con le motivazioni esposte al paragrafo 4.1.1 per il taglio di Bivio Mella, si ottengono i valori di:

$m_t = 3$; $n_t = 3,5$.

4.1.3 Quadruplicamento Rho – Parabiago, PRG Rho e nuovo P.C. S. Giorgio

L'intervento, in fase di realizzazione, è volto a incrementare la capacità sulla tratta Rho – Parabiago, con specializzazione delle linee per velocità, a eliminare i tagli a Rho in radice ovest e a creare una nuova connessione, attraverso Bivio/P.C. S. Giorgio, tra la rete RFI e la rete FNME (linea Saronno – Bivio Sacconago), creando così una connessione tra l'aeroporto di Malpensa, il polo fieristico di Rho (in vista anche di EXPO 2015) e Milano. Il quadruplicamento Rho – Parabiago prevede la realizzazione di una linea a doppio

binario in BAcc per i flussi di traffico lenti (LL) e una linea a doppio binario in BAcc per i flussi di traffico veloci (DD). Le linee sono poste su una sede a quattro binari. I due binari centrali sono quelli specializzati per la linea LL, mentre quelli esterni sono specializzati per la linea veloce (DD). La stazione di Vanzago viene trasformata in fermata con marciapiedi per il servizio viaggiatori solo sulla linea LL. È prevista la realizzazione della nuova fermata di Nerviano, con marciapiedi per il servizio viaggiatori solo sulla linea LL. Si prevedono modifiche al Piano Schematico della stazione di Parabiago, stazione in cui avviene la confluenza tra linea DD e linea LL, senza tuttavia generare interferenze. È prevista la trasformazione in fermata della stazione di Legnano e la realizzazione di Bivio/P.C. S. Giorgio, tra le stazioni di Legnano e Busto Arsizio, per la connessione con la linea Saronno – Bivio Sacconago, di rete FNME.

Il nuovo PRG di Rho permette, a regime, la creazione di itinerari senza interferenze a raso per le seguenti direttrici:

- Parabiago – Rho (LL) – Milano Certosa (via “Varese”);
- Parabiago – Rho (DD) – Milano Certosa (via “Novara”);
- Magenta – Rho – Milano Certosa (via “Varese”);
- Magenta – Rho – Milano Certosa (via “Novara”);
- Magenta – Rho – Milano Certosa (via AV) solo in senso dispari;
- Parabiago – Rho (DD e LL) – Milano Certosa (via AV) solo in senso dispari.

La linea Rho – Parabiago DD verrà percorsa dai servizi EC Milano Centrale – Domodossola, dai servizi RV Domodossola/Arona – Milano Porta Garibaldi, dai servizi R spot Luino – Milano Porta Garibaldi, dai servizi RE Porto Ceresio – Varese – Milano Porta Garibaldi, dai servizi RE Domodossola – Milano Centrale e dai servizi di nuova istituzione RE Milano Centrale – Rho – Malpensa. La linea Rho – Parabiago LL verrà percorsa dai servizi merci della linea, dai servizi S5 Gallarate – Treviglio e dai servizi di nuova istituzione S15 Parabiago – Milano Rogoredo. Per i dettagli su ciascun servizio di nuova istituzione o modificato rispetto alle caratteristiche attuali si rimanda al paragrafo 4.2.

La specifica di distanziamento definita per la linea LL, applicando l’equazione (39) è di:
 $S_1 = Dn_1$; poiché la linea è a doppio binario in BAcc (si vedano i paragrafi 2.4 e 1.2.3).

Dai dati progettuali si ricava che la sezione rilevante, per la linea LL, è di 1090 m. Considerando treni con velocità di impostazione di 140 km/h, facendo riferimento alla tabella in 0, si ottiene una specifica di distanziamento di:

$Dn_1 = 4,5$ min; perciò:

$S_1 = 4,5$ min .

Lo stesso valore si ottiene, sempre facendo riferimento alla tabella in 0, considerando treni merci con frenatura di tipo viaggiatori con velocità di impostazione di 110 km/h.

La specifica di distanziamento definita per la linea DD, applicando l'equazione (39) è di:

$S_1 = Dn_1$; poiché la linea è a doppio binario (si vedano i paragrafi 2.4 e 1.2.3).

Dai dati progettuali si ricava che la sezione rilevante, per la linea DD, è di 1090 m. Considerando treni con velocità di impostazione di 160 km/h, facendo riferimento alla tabella in 0, si ottiene una specifica di distanziamento di:

$Dn_1 = 4$ min; perciò:

$S_1 = 4$ min .

Le comunicazioni per raggiungere la rete FNME è realizzata con percorsi deviati a 60 km/h. La realizzazione del PRG di Rho, inoltre, permette di eliminare tutti i tagli d'orario di Rho in radice ovest.

4.1.4 Attivazione ACC multistazione e nuovi PRG lungo la direttrice Torino – Padova

L'intervento prevede l'attivazione dell'ACC multistazione e la realizzazione di nuovi PRG in diverse stazioni della direttrice tradizionale Torino – Padova. In questa sede ci si limita a descrivere gli interventi previsti che influenzano la capacità della rete considerata nell'analisi.

Al fine di incrementare la capacità di linee a traffico prettamente suburbano e omotachiche, in regime di circolazione con BAcc, è stato definito un intervento di riduzione della lunghezza delle sezioni di blocco a 900 m. Tale intervento è previsto per le seguenti tratte:

- Milano Greco Pirelli – Sesto S. Giovanni via “Chiasso”
- Milano Greco Pirelli – Sesto S. Giovanni via “Lecco”
- Sesto S. Giovanni – Monza via “Chiasso”

- Sesto S. Giovanni – Monza via “Lecco”
- Milano Certosa – T.B. Seveso via “Viaggiatori”
- Milano Certosa – T.B. Seveso via “Cintura”

La specifica di distanziamento, per ciascuno di questi casi, applicando l’equazione (39) è di:

$S_1 = Dn_1$; poiché la linea è a doppio binario in BAcc (si vedano i paragrafi 2.4 e 1.2.3).

Si ipotizzano sezioni di lunghezza massima di 1000 m. Considerando treni con velocità di impostazione di 140 km/h, facendo riferimento alla tabella in 0, si ottiene una specifica di distanziamento di:

$Dn_1 = 4\text{min}$; perciò:

$S_1 = 4\text{min}$.

Lo stesso valore si ottiene, sempre facendo riferimento alla tabella in 0, considerando treni merci con frenatura di tipo viaggiatori con velocità di impostazione di 110 km/h.

La realizzazione dei PRG di Vittuone – Arluno e di Magenta, porta a una velocizzazione (a 60km/h) dei percorsi deviati in radice est di entrambe le stazioni. In entrambi i casi, visto il modello di esercizio, si hanno punti di infrastruttura in cui si generano dei tagli. Per analogia con le motivazioni esposte al paragrafo 4.1.1 per il taglio di Bivio Mella, si ottengono, per entrambi i casi i valori di:

$m_t = 3$; $n_t = 3,5$.

4.1.5 Attuazione del PRG di Monza

L’intervento prevede la velocizzazione degli itinerari in radice sud della stazione di Monza, con modifiche al piano del ferro e alle comunicazioni. Gli attuali punti di taglio verranno percorsi, in deviate, a 60 km/h. La comunicazione in radice sud, tra linea “Chiasso” e linea “Lecco”, inoltre, viene raddoppiata e il binario VII viene prolungato in direzione Sesto S. Giovanni. Con queste modifiche sono possibili movimenti contemporanei di flussi pari e di flussi dispari per le direttrici Carnate – Milano con istradamento su linea “Chiasso” e Besana – Milano con istradamento su linea “Lecco”. Per analogia con le motivazioni esposte al paragrafo 4.1.1 per il taglio di Bivio Mella, si ottengono, per tutti i casi di punti di taglio, i valori di:

$m_t = 3$; $n_t = 3,5$.

4.1.6 Attivazione nuove stazioni lungo la linea Monza – Arcore

L'intervento prevede l'attivazione della fermata di Monza Est e l'attivazione di marciapiedi per il servizio viaggiatori lungo la linea Monza – Carnate anche per le fermate di Monza Sobborghi e Villasanta (quest'ultima resterà stazione solo per la linea Monza – Besana – Molteno, ma avrà i marciapiedi, come fermata, anche sulla linea Monza – Carnate).

Le fermate saranno effettuate dai servizi suburbani S8, limitati a Carnate, con frequenza incrementata a 15'. Per dettagli sulle modifiche ai servizi ferroviari citati si rimanda al paragrafo 4.2.

4.1.7 Dismissione della linea Milano S. Cristoforo – Milano Porta Genova

L'intervento prevede la dismissione della linea Milano S. Cristoforo – Milano Porta Genova. I servizi ferroviari che ora vi circolano saranno istradati via “Cintura sud” e attestati alla stazione di Milano Rogoredo.

4.1.8 Potenziamento dei bacini bergamasco e lecchese

L'intervento prevede l'attivazione dell'ACC multistazione per le linee ferroviarie secondarie afferenti a Bergamo e Lecco, attualmente esercitate in dirigenza centrale. Le linee coinvolte dall'intervento sono:

- Linea Carnate – Ponte S. Pietro
- Linea Calolziocorte – Ponte S. Pietro – Bergamo
- Linea Carnate – Seregno
- Linea Bergamo – Rovato
- Linea Monza – Besana – Molteno
- Linea Lecco – Molteno – Como

Si riportano di seguito, per ciascuna linea, i dettagli degli interventi previsti.

4.1.8.1 Linea Carnate – Ponte S. Pietro

È prevista la dismissione del regime di circolazione in BEM e l'attivazione del BCA. Si ottiene una riduzione delle specifiche di distanziamento con conseguente aumento della

capacità teorica in quanto, per linee con BCA, si ha un incremento del tempo di bloccamento pari a 2' (cfr. paragrafo 1.2.3), inferiore di 1' dell'incremento del tempo di bloccamento per linee con BEM. È prevista inoltre la velocizzazione a 60 km/h degli itinerari di ingresso e di uscita nelle stazioni di Ponte S. Pietro e Calusco, con realizzazione di sottopassi per l'assenza di percorsi di attraversamento a raso dei binari da parte dei viaggiatori e tronchini per l'indipendenza di ferro tra gli itinerari di arrivo.

La linea è percorsa, come ad oggi, dai servizi ferroviari RV Bergamo – Milano (via Carnate).

La specifica di distanziamento per la tratta, applicando l'equazione (40), è definita come:

$S_1 = \max(T_{p1} + z_1 ; D_{p1})$; con:

$T_{p1} = \text{sblocco} = 5 \text{ min}$; tale valore è inferiore di 1 min rispetto all'attuale tempo di bloccamento critico grazie alla velocizzazione degli itinerari in ingresso e in uscita (sezione critica: Paderno – Calusco) ;

$D_{p1} = T_{p1} + 2 \text{ min}$; in quanto la linea è in BCA (si vedano i paragrafi 2.4 e 1.2.3);

$z_1 = 2 \text{ min}$, considerando il caso standard (si vedano i paragrafi 2.4 e 1.2.4); perciò:

$S_1 = 7 \text{ min}$;

4.1.8.2 *Linea Calolziocorte – Ponte S. Pietro – Bergamo*

Per quel che riguarda la tratta Calolziocorte – Ponte S. Pietro è prevista la dismissione del regime di circolazione in BEM e l'attivazione del BCA. Si ottiene una riduzione delle specifiche di distanziamento per i motivi di cui al paragrafo 4.1.8.1. È prevista inoltre la velocizzazione a 60 km/h degli itinerari di ingresso e di uscita nella stazione di Cisano Caprino Bergamasco, con realizzazione di sottopassi per l'assenza di percorsi di attraversamento a raso dei binari da parte dei viaggiatori e tronchini per l'indipendenza di ferro tra gli itinerari di arrivo.

La linea è percorsa, come ad oggi, dai servizi ferroviari R Bergamo – Lecco.

Analogamente con quanto detto al paragrafo 4.1.8.1 si ottiene una riduzione del tempo di bloccamento critico (sezione critica: Ambivere – Cisano) e, pertanto, una specifica di:

$S_1 = 9 \text{ min}$.

Per quel che riguarda la tratta Ponte S. Pietro – Bergamo è prevista l'attivazione di un PBI intermedio. Deve essere ricalcolata, pertanto, la specifica di distanziamento per treni al

seguito.

La linea è percorsa, come ad oggi, dai servizi ferroviari R Bergamo – Lecco e dai servizi R Bergamo – Milano (via Carnate).

La specifica di distanziamento, applicando l'equazione (40), è definita come:

$S_1 = D_{p1}$; in quanto la linea è a semplice binario con PBI (si veda il paragrafo 2.4);

$D_{p1} = T_{p1} + 2 \text{ min}$; in quanto la linea è in BCA (si vedano i paragrafi 2.4 e 1.2.3); perciò:

$T_{p1} = \text{sblocco} = 3 \text{ min}$; ovvero la metà del tempo di bloccamento attuale per la tratta in esame, essendo previsto il PBI in posizione centrale.

$S_1 = 5 \text{ min}$.

4.1.8.3 *Linea Carnate – Seregno*

È prevista la dismissione del regime di circolazione in BEM e l'attivazione del BCA, la trasformazione della stazione di Macherio – Sovico in fermata e l'attivazione di un PBI intermedio. Deve essere ricalcolata, pertanto, la specifica di distanziamento.

La linea è percorsa dai servizi R Carnate – Seregno e dai servizi merci Lecco Maggianico – Chiasso, secondo lo stesso modello di esercizio attuale.

L'attuale tempo di percorrenza critico per l'intera tratta è di 9 min, pertanto, a seguito della dismissione della stazione di Macherio – Sovico e l'attivazione del PBI intermedio, si ottiene un nuovo tempo di percorrenza critico pari a:

$T_{p1} = \text{sblocco} = 4,5 \text{ min}$.

Analogamente con quanto detto nei paragrafi precedenti, si ottiene:

$S_1 = 6,5 \text{ min}$.

4.1.8.4 *Linea Bergamo – Rovato*

È prevista la dismissione del regime di circolazione in BEM e l'attivazione del BCA, la trasformazione dei PB di Albano S. Alessandro e Cologne in fermate e l'attivazione di due PBI in corrispondenza delle stesse. È prevista inoltre la velocizzazione a 60 km/h degli itinerari di ingresso e di uscita nelle stazioni di Grumello e Montello (lato Bergamo), con realizzazione di sottopassi per l'assenza di percorsi di attraversamento a raso dei binari da parte dei viaggiatori e tronchini per l'indipendenza di ferro tra gli itinerari di arrivo (intervento previsto anche per le stazioni di Grumello e Coccaglio).

La linea è percorsa, come ad oggi, dai servizi ferroviari R Bergamo – Brescia.

Analogamente con quanto detto al paragrafo 4.1.8.1 si ottiene una riduzione del tempo di bloccamento critico (sezione critica: Montello – Grumello) e, pertanto, una specifica di:

S₁ = 8 min ;

4.1.8.5 *Linea Monza – Besana - Molteno*

Per la tratta Monza – Besana è prevista la dismissione del regime di circolazione in BEM e l'attivazione del BCA. Si ottiene una riduzione delle specifiche di distanziamento per i motivi di cui al paragrafo 4.1.8.1. È prevista inoltre la velocizzazione a 60 km/h degli itinerari di ingresso e di uscita nella stazione di Triuggio (lato Monza) e Besana (lato Monza), con realizzazione, solo per il caso di Triuggio, di sottopassi per l'assenza di percorsi di attraversamento a raso dei binari da parte dei viaggiatori e tronchini per l'indipendenza di ferro tra gli itinerari di arrivo. È prevista inoltre la trasformazione della fermata di Biassono – Lesmo Parco in stazione.

La linea è percorsa, come ad oggi, dai servizi ferroviari S7 Milano P. Garibaldi – Molteno – Lecco.

La sezione critica, grazie alla realizzazione della stazione di Biassono – Lesmo Parco, diventa la tratta Besana – Triuggio. Analogamente con quanto detto al paragrafo 4.1.8.1 si ottiene una specifica di:

S₁ = 9 min ;

Per la tratta Molteno – Besana è prevista la dismissione del regime di circolazione in BEM e l'attivazione del BCA. Si ottiene una riduzione delle specifiche di distanziamento per i motivi di cui al paragrafo 4.1.8.1. È prevista inoltre la velocizzazione a 60 km/h degli itinerari di ingresso e di uscita nella stazione di Molteno (lato Lecco), con realizzazione di sottopassi per l'assenza di percorsi di attraversamento a raso dei binari da parte dei viaggiatori e tronchini per l'indipendenza di ferro tra gli itinerari di arrivo.

La linea è percorsa, come ad oggi, dai servizi ferroviari S7 Milano P. Garibaldi – Molteno – Lecco.

Analogamente con quanto detto al paragrafo 4.1.8.1 si ottiene una riduzione del tempo di bloccamento critico (sezione critica: Besana – Costa Masnaga) e, pertanto, una specifica di:

S₁ = 12 min ;

4.1.8.6 *Linea Lecco – Molteno*

È prevista la dismissione del regime di circolazione in BEM e l'attivazione del BCA. Si ottiene una riduzione delle specifiche di distanziamento per i motivi di cui al paragrafo 4.1.8.1. È prevista inoltre la velocizzazione a 60 km/h degli itinerari di ingresso e di uscita nella stazione di Molteno (lato Lecco), con realizzazione di sottopassi per l'assenza di percorsi di attraversamento a raso dei binari da parte dei viaggiatori e tronchini per l'indipendenza di ferro tra gli itinerari di arrivo.

La linea è percorsa, come ad oggi, dai servizi ferroviari S7 Milano P. Garibaldi – Molteno – Lecco.

Analogamente con quanto detto al paragrafo 4.1.8.1 si ottiene una riduzione del tempo di bloccamento critico (sezione critica: Oggiono – Valmadrera) e, pertanto, una specifica di:

S₁ = 11 min ;

4.1.9 Attuazione del nuovo PRG di Milano Lambrate

L'intervento prevede l'eliminazione dei tagli di Milano Lambrate in radice sud sui binari VIII e IX grazie alla realizzazione di un doppio scavalco che permetterà l'inserimento dei flussi di traffico provenienti da Milano P. Garibaldi (attraverso i binari V e VIII) e diretti a Milano Rogoredo sulla linea "Bologna" senza generare tagli, eliminando perciò quelli attualmente esistenti.

L'intervento prevede inoltre un riassetto degli itinerari verso le linee Milano Lambrate – Milano Greco Pirelli, Milano Lambrate – Milano Smistamento, Milano Lambrate – Milano Rogoredo (via "Cintura"), Milano Lambrate – Pioltello (via LL). In particolare, da e per ciascuna delle linee citate, l'itinerario di corretto tracciato a partire da Milano Lambrate si ottiene attraverso i binari che vengono descritti di seguito:

- per la linea Milano Lambrate – Milano Greco Pirelli l'itinerario di corretto tracciato si ottiene sui binari I (dispari) e VI (pari);
- per la linea Milano Lambrate – Milano Smistamento l'itinerario di corretto tracciato si ottiene sui binari I (dispari) e III (pari);
- per la linea Milano Lambrate – Milano Rogoredo (via "Cintura") l'itinerario di

corretto tracciato si ottiene sui binari II (dispari) e VI (pari);

- per la linea Milano Lambrate – Pioltello (via LL) il corretto tracciato si ottiene sui binari IV (dispari) e V (pari);

I flussi provenienti da Milano Greco Pirelli, pertanto, possono essere istradati verso Milano Smistamento e Milano Rogoredo (via “Cintura”) senza generare tagli. Si elimina perciò il taglio in radice nord, a monte del binario II.

Si genera tuttavia, in radice nord un taglio a monte del binario IV tra i flussi dispari per Milano Smistamento e i flussi pari da Milano Rogoredo (via “Cintura”)

4.1.10 Sezioni di lunghezza 900 m sulla linea Monza – Como – Chiasso

L’intervento prevede di accorciare le sezioni di blocco sulla linea Monza – Bivio Rosales – Chiasso (sia via Monte Olimpino sia via Albate). La specifica di distanziamento, applicando l’equazione (39), è di:

$S_1 = Dn_1$; poiché la linea è a doppio binario in BAcc (si vedano i paragrafi 2.4 e 1.2.3).

Si ipotizzano sezioni di lunghezza massima di 1000 m. Considerando treni con velocità di impostazione di 140 km/h, facendo riferimento alla tabella in 0, si ottiene una specifica di distanziamento di:

$Dn_1 = 4\text{min}$; perciò:

$S_1 = 4\text{min}$.

Lo stesso valore si ottiene, sempre facendo riferimento alla tabella in 0, considerando treni merci con frenatura di tipo viaggiatori con velocità di impostazione di 110 km/h.

4.1.11 Realizzazione di un nuovo binario di attestamento a Milano Greco Pirelli

L’intervento prevede la realizzazione di un nuovo binario di attestamento nella stazione di Milano Greco Pirelli, che verrà denominato come binario V. Esso sarà utilizzato per l’attestamento di servizi viaggiatori.

4.2 Modifiche al modello di esercizio previste

Nei paragrafi che seguono si descrivono le modifiche che sono previste al modello di esercizio, prendendo in esame soprattutto quelle che influenzano il modello di calcolo.

4.2.1 Direttrice AV Torino – Milano P. Garibaldi – Milano Rogoredo – Roma

I servizi AV dell’Impresa Ferroviaria Trenitalia della linea Torino – Milano P. Garibaldi –

Roma – Napoli avranno un incremento di frequenza, portandola a 30' nelle fasce di punta e a 60' nelle fasce di morbida. Tutti i servizi AV della direttrice, inoltre, a Milano Lambrate in senso dispari verranno ricevuti sul binario V per poi essere istradati, attraverso il sottopasso (intervento descritto al paragrafo 4.1.9), sulla linea “Bologna” in direzione Rogoredo senza effettuare tagli in radice sud di Milano Lambrate. In senso pari, invece, dopo aver percorso il sottopasso, verranno ricevuti in binario VIII per poi proseguire, in itinerario di corretto tracciato, verso Quadrivio / P.C. Turro. L’assegnazione dell’itinerario permette di evitare il taglio in radice sud che attualmente si genera, in corrispondenza dei binari VIII e IX

4.2.2 Linea Milano – Piacenza / Cremona

I servizi RE Milano – Bologna e RE Milano – Mantova avranno un incremento di frequenza, portandola a 60' nelle fasce di punta e nelle fasce di morbida, mantenendo le stesse percorrenze assegnate nello scenario attuale.

Verrà inoltre istituito il nuovo servizio suburbano S12 Varedo – Melegnano, con frequenza di 30' nelle fasce di punta e di morbida, che percorrerà la linea LL. L’aggiunta di tale servizio genera un taglio in radice nord di Melegnano, dovuto all’attestamento. I deviatori di Melegnano in radice nord possono essere percorsi, in itinerario deviato, a una velocità di 60 km/h. Per analogia con le motivazioni esposte al paragrafo 4.1.1 per il taglio di Bivio Mella, si ottengono, per tutti i casi i valori di:

$$m_t = 3 ; n_t = 3,5 .$$

Il modello di esercizio, per i servizi che circolano sulla tratta Milano Rogoredo – Tavazzano LL, è caratterizzato da 2 livelli di velocità (RV e Merci + S) che, unitamente alle caratteristiche infrastrutturali della linea in relazione alla possibilità di effettuare operazioni di precedenza, determina un valore di tracce di sfrido (si veda il paragrafo 2.5):

$$T_1 = 1 .$$

4.2.3 Passante ferroviario

Il sistema ferroviario suburbano di Milano, a regime, prevede un totale di 16 tracce/h omotachiche per senso di marcia circolanti all’interno del Passante Ferroviario Urbano. Verranno attivati infatti portati a regime tutti i servizi attualmente circolanti e attivati i servizi S12 Varedo – Melegnano, S14 Magenta – Milano Rogoredo, S15 Parabiago –

Milano Rogoredo, tutti con frequenza di 30' nelle fasce di punta e di morbida.

4.2.4 Linea Milano – Mortara

I servizi RE Alessandria – Mortara – Milano verranno attestati a Milano Rogoredo anziché a Milano Porta Genova, vista l'imminente dismissione della tratta. Essi percorreranno la linea Milano S. Cristoforo – Milano P. Romana, per poi proseguire ed attestarsi a Milano Rogoredo.

4.2.5 Linee Milano – Bivio Adda / Bergamo / Brescia / Cremona

I servizi suburbani S5 ed S6, a regime, saranno entrambi attestati a Treviglio in fasce di punta e in fasce di morbida, mantenendo le stesse percorrenze assegnate nello scenario attuale.

I servizi merci, essendo di un livello di velocità basso, assimilabile a quello dei servizi suburbani, saranno quasi totalmente istradati via LL. Questa modifica sarà ancor più facilmente attuabile con la realizzazione dell'intervento previsto nel PRG di Milano Lambrate (si veda il paragrafo 4.1.9), in quanto i servizi provenienti dalla direttrice Chiasso e diretti verso Brescia e Venezia, potranno essere istradati, a Milano Lambrate, sulla linea LL per Pioltello senza generare tagli eccessivamente gravosi.

I servizi ESC Milano – Venezia, a Bivio Adda, verranno istradati verso Brescia attraverso la nuova infrastruttura AV (si veda il paragrafo 4.1.1), e percorreranno, quindi, la linea Brescia Scalo – Brescia.

I servizi RE Milano P. Garibaldi – Bergamo avranno una regolarizzazione di frequenza, portandola a 60' nelle fasce di punta e nelle fasce di morbida, mantenendo le stesse percorrenze assegnate nello scenario attuale. Si otterrà quindi un servizio veloce di categoria regionale sulla linea Milano – Bergamo con frequenza di 30'.

I servizi R Treviglio – Cremona verranno attestati a Milano Greco Pirelli in V binario e assumeranno frequenza oraria, diventando quindi RV Milano Greco Pirelli – Treviglio – Cremona, percorrendo, tra Treviglio e Milano, la linea LL, con traccia rallentata dall'assegnazione di due fermate intermedie da definire (ad esempio Cassano e Melzo). La traccia sarà rallentata per renderla assimilabile a quella dell'unico livello di velocità di cui è caratterizzata la linea LL. La frequenza del servizio sarà di 60' nelle fasce di punta e nelle fasce di morbida. L'aggiunta di tale servizio genera un taglio in radice est di Treviglio, sul binario IV, dovuto all'istradamento verso Cremona. I servizi, infatti,

effettueranno servizio viaggiatori sui binari III e IV di Treviglio. I deviatoti interessati possono essere percorsi, in itinerario deviato, a una velocità di 30 km/h. Per analogia con le motivazioni esposte al paragrafo 4.1.1 per il taglio di Bivio Mella, si ottengono, per tutti i casi i valori di:

$$m_t = 3 ; n_t = 5,5 .$$

I servizi RE Milano Centrale – Verona non verranno istradati sulla linea LL a Bivio Adda, ma si manterranno sulla linea DD fino a Treviglio. Non sarà più necessaria, infatti, l’effettuazione dell’operazione di precedenza a Treviglio tra i servizi ESC i servizi RE, in quanto gli ESC, a Bivio Adda, verranno istradati via AV.

I servizi RV Sesto S. Giovanni – Milano – Brescia saranno effettuati solo in fascia di punta, con frequenza di 30’, con origine a Milano Porta Garibaldi anziché Sesto S. Giovanni. Essi verranno istradati via Musocco – Turro – Milano Lambrate e, quindi, via “Cintura” fino a Pioltello.

I servizi RE Milano Centrale – Verona assumeranno frequenza semioraria tra Milano Centrale e Brescia, mentre resteranno a frequenza oraria tra Milano Centrale e Verona.

I servizi R Bergamo – Treviglio verranno prolungati da Treviglio a Brescia, con effettuazione di tutte le fermate, e con frequenza di 60’ nelle fasce di punta e nelle fasce di morbida. In questo modo si privilegia un collegamento veloce e diretto tra Milano e Brescia, mentre le fermate a minor traffico di Vidalengo, Morengo e Calcio verranno assegnate sistematicamente ai servizi R Bergamo – Treviglio – Brescia, comunque implementato nel sistema orario del nodo di Treviglio, e garantendo un servizio senza rotture di carico alla provincia bergamasca, mentre rimarranno corse su Sesto S. Giovanni nelle sole ore e direzioni di punta. Saranno mantenuti, sulla linea Treviglio – Bergamo, i servizi di rinforzo R Treviglio – Bergamo, con frequenza con frequenza di 60’ nelle fasce di punta e nelle fasce di morbida, intercalati alla mezz’ora con i servizi R Bergamo – Treviglio – Brescia.

Il modello di esercizio, per la linea Treviglio – Rovato, è caratterizzato da 2 livelli di velocità (RE e Merci + R) che, unitamente alle caratteristiche infrastrutturali della linea in relazione alla possibilità di effettuare operazioni di precedenza, determina un valore di tracce di sfrido (si veda il paragrafo 2.5):

$$T_1 = 2.$$

4.2.6 Linee Milano – Monza – Carnate – Lecco / Bergamo

I servizi ferroviari S8 saranno limitati a Carnate, lato Lecco (eventualmente a Cernusco, subordinatamente alla conversione in stazione della fermata di Cernusco, con realizzazione di un binario di attestamento), con la frequenza incrementata a 15' nelle fasce di punta e nelle fasce di morbida. In questo modo, in concomitanza con le modifiche citate al paragrafo 4.2.8, potrà essere garantita una frequenza di passaggi 15' per la linea Monza – Milano Porta Garibaldi. Lato Milano essi saranno prolungati per metà verso Milano Bovisa e per metà verso Parabiago.

Saranno istituiti nuovi servizi “R8”, RV Milano P. Garibaldi – Lecco, che percorrano la tratta Carnate – Monza senza fermate intermedie e la tratta Carnate – Lecco effettuando tutte le fermate. Avranno frequenza di 30' nelle fasce di punta e nelle fasce di morbida. Essi percorreranno le stesse tratte precedentemente assegnate ai servizi S8.

I servizi RV Milano P. Garibaldi – Bergamo avranno un incremento di frequenza, portandola a 30' nelle fasce di punta e nelle fasce di morbida, mantenendo le stesse percorrenze assegnate nello scenario attuale e non effettuando fermate intermedie tra Carnate e Monza.

Il modello di esercizio, per la tratta Monza – Carnate, prevede una griglia, per ogni senso di marcia, formata dal ripetersi dello schema di 2 tracce veloci al seguito e una traccia lenta. Il modello di esercizio, per quanto detto, è caratterizzato da 2 livelli di velocità (RE+RV+Merci e S) che, unitamente alle caratteristiche infrastrutturali della linea in relazione alla possibilità di effettuare operazioni di precedenza, determina un valore di tracce di sfrido (si veda il paragrafo 2.5):

$$T_1 = 2 .$$

4.2.7 Linee Como / Monza – Molteno – Lecco

I servizi S7 Milano P. Garibaldi – Molteno – Lecco avranno un incremento di frequenza, portandola a 30' nelle fasce di punta e nelle fasce di morbida, mantenendo le stesse percorrenze assegnate nello scenario attuale.

I servizi R Como – Molteno non verranno più effettuati in quanto, in loro sostituzione, verranno istituiti i nuovi servizi S40 (Lecco) – Molteno – Chiasso – Mendrisio – Varese – Gallarate, con frequenza di 60' in fasce di punta e in fasce di morbida.

4.2.8 Linea Milano – Monza – Como – Chiasso

I servizi ferroviari S11 a Seregno verranno istradati verso Saronno, e quindi proseguiranno su Castellanza, attraverso rete FNME, per attestarsi a Busto Arsizio RFI, con la frequenza di 30' nelle fasce di punta e nelle fasce di morbida. Tutti i treni percorreranno la linea "Chiasso" tra Milano Greco Pirelli e Monza. Da Milano Greco Pirelli proseguiranno, anziché verso Milano porta Garibaldi, verso Milano Lambrate e, quindi, si attesteranno a Milano Rogoredo, percorrendo le linee di "Cintura".

I servizi ferroviari S9 verranno attestati a Seregno anziché a Saronno, in quanto la linea Saronno – Seregno sarà servita dai servizi ferroviari S11. Le linee suburbane S11 e S9 realizzeranno una frequenza di 15' per senso di marcia sulla tratta Seregno – Monza – Milano Greco Pirelli – Milano Lambrate.

Saranno istituiti nuovi servizi "R11", RV Milano Centrale – Como – Chiasso, che percorrano la tratta Seregno – Monza senza fermate intermedie e la tratta Seregno – Chiasso effettuando tutte le fermate. Avranno con frequenza di 30' nelle fasce di punta e nelle fasce di morbida. Essi percorreranno le stesse tratte precedentemente assegnate ai servizi S11, a parte la tratta tra Milano Centrale e Milano Greco Pirelli. Tutti i treni percorreranno la linea "Chiasso" tra Milano Porta Garibaldi e Monza.

I servizi EC Milano Centrale – Chiasso – Zurigo avranno un incremento di frequenza, portandola a 60' nelle fasce di punta e nelle fasce di morbida, mantenendo le stesse percorrenze assegnate nello scenario attuale.

I servizi merci, come da richiesta di SBB, avranno un aumento di frequenza, prevedendo 4 tracce/h per senso di marcia tra la direttrice considerata e Milano Smistamento, mantenendo le stesse percorrenze assegnate nello scenario attuale e senza generare tagli a Milano Lambrate, grazie al nuovo intervento previsto in PRG.

I servizi RE Brescia – Milano Greco Pirelli – Sesto San Giovanni non saranno più attestati a Sesto S. Giovanni, ma a Milano Porta Garibaldi, mentre i servizi RV Sesto S. Giovanni – Milano – Treviglio – Cremona saranno attestati a Milano Greco Pirelli.

I servizi RE Milano – Chiasso – Bellinzona non verranno più effettuati in quanto, a regime, si prevede un collegamento con frequenza semioraria tra Milano Centrale, Como e Chiasso.

4.2.9 Linea Milano P. Garibaldi – Milano Bovisa – (Saronno)

I servizi RE Milano Centrale – Malpensa, a regime, saranno istradati via Milano Porta Garibaldi – Rho – Bivio S. Giorgio, pertanto non percorreranno più la bivio Mirabello – Milano P. Garibaldi – Milano Bovisa.

I servizi RV Laveno – Varese Nord – Saronno – Milano Bovisa – Milano Cadorna, invece, a Milano Bovisa saranno istradati verso Milano Porta Garibaldi. Il servizio avrà una frequenza di 60' in fasce di punta e in fasce di morbida.

I servizi S8 su ramo Bovisa avranno una frequenza di 30' nelle fasce di punta e nelle fasce di morbida.

4.2.10 Linea Milano – Rho – Busto Arsizio / Malpensa

Grazie all'intervento di quadruplicamento della tratta Rho – Parabiago (intervento descritto al paragrafo 4.1.3) si otterrà una separazione dei flussi di traffico per livelli di velocità. Sulla linea LL circoleranno i servizi di categoria S e i servizi merci, mentre sulla linea DD i servizi RV, RE e EC.

I servizi EC Milano Centrale – Domodossola avranno un incremento di frequenza, portandola a 60' nelle fasce di punta e nelle fasce di morbida, percorreranno la linea DD tra Rho e Parabiago e manterranno le altre percorrenze uguali a quelle assegnate nello scenario attuale.

I servizi RV Milano P. Garibaldi – Rho – Gallarate – Arona / Domodossola percorreranno la linea DD tra Rho e Parabiago e la linea “Novara” tra Milano P. Garibaldi e Rho.

I servizi RE Milano Centrale – Rho – Gallarate – Domodossola avranno un incremento di frequenza, portandola a 60' nelle fasce di punta e nelle fasce di morbida e percorreranno la linea DD tra Rho e Parabiago, la linea “Novara” tra Milano Certosa e Rho e la linea “viaggiatori” tra Milano Certosa e Quadrioglio Turro.

I servizi R spot Milano P. Garibaldi – Luino percorreranno la linea DD tra Rho e Parabiago e la linea “Novara” tra Milano P. Garibaldi e Rho.

I servizi RE Milano – Varese avranno un incremento di frequenza, portandola a 30' nelle fasce di punta e nelle fasce di morbida e verranno prolungati fino a Porto Ceresio, effettuando tutte le fermate tra Varese e Porto Ceresio. Percorreranno la linea DD tra Rho e Parabiago e la linea “Novara” tra Milano P. Garibaldi e Rho.

I nuovi servizi RE Milano Centrale – Rho Fiera – Bivio S. Giorgio – Malpensa avranno una frequenza di 30' nelle fasce di punta e nelle fasce di morbida e percorreranno la linea

DD tra Rho e Parabiago, la linea “Novara” tra Milano Certosa e Rho e la linea “viaggiatori” tra Milano Certosa e Quadrioglio Turro. Il nuovo servizio determina l’originarsi di un nuovo punto di taglio in corrispondenza di Bivio/P.C. S. Giorgio, tra i flussi in direzione Malpensa (rete FNME) e quelli in direzione Gallarate. Il tratto di infrastruttura interessato dal taglio ha caratteristiche per essere percorso, in deviazione, a una velocità di 60 km/h. Per analogia con le motivazioni esposte al paragrafo 4.1.1 per il taglio di Bivio Mella, si ottengono i valori di:

$$m_t = 3 ; n_t = 3,5 .$$

I servizi S5 saranno limitati a Gallarate. Percorreranno la linea LL tra Rho e Parabiago e manterranno le altre percorrenze uguali a quelle assegnate nello scenario attuale.

I nuovi servizi S15 Parabiago – Rho – Milano Rogoredo (via passante) avranno una frequenza di 30’ nelle fasce di punta e nelle fasce di morbida e percorreranno la linea LL tra Rho e Parabiago e la linea “Varese” tra Milano Certosa e Rho.

I servizi S8 su ramo Parabiago avranno una frequenza di 30’ nelle fasce di punta e nelle fasce di morbida e percorreranno la linea LL tra Rho e Parabiago, la linea “Varese” tra Milano Certosa e Rho e la linea “Novara” tra Milano Certosa e Milano Porta Garibaldi.

4.2.11 Linea Gallarate – Arona – Domodossola

Lungo la linea verranno applicate modifiche ai servizi EC Milano Centrale – Domodossola, ai servizi RV Milano P. Garibaldi – Rho – Gallarate – Arona / Domodossola e ai servizi RE Milano Centrale – Rho – Gallarate – Domodossola, modifiche già descritte al paragrafo 4.2.10.

4.2.12 Linea Gallarate – Luino

I servizi S30 Bellinzona – Luino – Gallarate – Malpensa, a regime, verranno limitati a Gallarate, in quanto il collegamento tra il Canton Ticino e l’aeroporto di Malpensa verrà realizzato dai nuovi servizi S50, via Varese; avranno una regolarizzazione di frequenza, portandola a 60’ nelle fasce di punta e nelle fasce di morbida.

4.2.13 Linea Sesto Calende – Laveno FS

I servizi R Novara – Laveno, con lo scenario a regime, non verranno più effettuati.

4.2.14 Linee Malpensa – Gallarate – Varese – Mendrisio / Porto Ceresio

Lungo le linee verranno applicate modifiche ai servizi ai servizi RE Milano P. Garibaldi – Rho – Varese – Porto Ceresio e ai servizi S5, modifiche già descritte al paragrafo 4.2.10.

I nuovi servizi S50 Bellinzona – Mendrisio – Varese – Gallarate – Malpensa avranno una frequenza di 60' nelle fasce di punta e nelle fasce di morbida. Effettueranno tutte le fermate presenti nelle tratte percorse.

I nuovi servizi S40 (Lecco) – Molteno – Chiasso – Mendrisio – Varese – Gallarate – Malpensa avranno una frequenza di 60' nelle fasce di punta e nelle fasce di morbida. Effettueranno tutte le fermate presenti nelle tratte percorse. Essi saranno intercalati alla mezz'ora con i servizi S50 ed assorbiranno la frequenza degli attuali servizi R Molteno – Como S. Giovanni.

Il modello di esercizio prevede inoltre servizi RV spot Bellinzona – Mendrisio – Varese – Gallarate – Malpensa, con una frequenza di 60' nelle sole fasce di punta.

Il modello di esercizio sulla linea Gallarate – Varese sarà caratterizzato da 2 livelli di velocità (RE e RV) che, unitamente alle caratteristiche infrastrutturali della linea in relazione all'impossibilità di effettuare operazioni di precedenza, determina un valore di tracce di sfrido (si veda il paragrafo 2.5):

$$\mathbf{T_1 = 4 .}$$

Essendoci il PBI, lungo la tratta Varese – P.P. Induno, devono essere calcolate le tracce di sfrido a causa delle inversioni del blocco (si veda il paragrafo 2.6). Tale valore è definito dall'equazione (47):

$$T_{1,PBI} = n/2 \cdot K_{PBI,l} ; \text{ nel caso in esame:}$$

$n = 10$; desunto dalla documentazione relativa al modello di esercizio previsto (in orari di punta);

Considerando il grafico in Figura 14, con T_{pl} pari a 4 min si ottiene un $K_{PBI,l}$ pari a 0,5. Pertanto in orari di punta, si ottiene un valore di tracce di sfrido:

$$\mathbf{T_{1,PBI} = 2,5 .}$$

Analogamente alla procedura appena esplicitata, in orari di morbida si ha un valore di:

$n = 8$; desunto dalla documentazione relativa al modello di esercizio;

Pertanto in orari di punta, si ottiene un valore di tracce di sfrido:

$$\mathbf{T_{1,PBI} = 2 .}$$

4.2.15 Linea Milano Rogoredo – Pavia

A seguito di una regolarizzazione generale delle frequenze dei servizi sulla tratta, i servizi RV (Piacenza) – Stradella – Milano Greco Pirelli avranno una frequenza di 60' nelle fasce di punta e nelle fasce di morbida.

4.2.16 Linea Milano Rogoredo – Codogno – Piacenza

A seguito di una regolarizzazione generale delle frequenze dei servizi sulla tratta, i servizi spot RV Piacenza/Cremona – Milano Greco Pirelli non verranno più effettuati.

4.2.17 Linea Pavia - Casalpusterlengo

I servizi R Pavia – Casalpusterlengo – Codogno avranno un incremento di frequenza, portandola a 30' nelle fasce di punta e di 60' nelle fasce di morbida.

4.2.18 Linea Milano – Novara

I nuovi servizi S14 Magenta – Milano Rogoredo (via passante) avranno frequenza di 30' nelle fasce di punta e nelle fasce di morbida e percorreranno la linea LL tra Rho e Parabiago e la linea “Varese” tra Milano Certosa e Rho. L'aggiunta di tale servizio genera un taglio in radice est di Magenta, dovuto all'attestamento.

4.2.19 Studio del modello di esercizio per altre tratte con previsione di installazione di PBI

Per le tratte su cui è prevista l'installazione di PBI, anche ove mantengano lo stesso modello di esercizio attualmente previsto o apportando solo da incrementi di frequenza, è necessario uno studio approfondito del modello di esercizio al fine di determinare le tracce di sfido causate dalla presenza di PBI. Non verranno considerati, in questa analisi, le tratte in cui è prevista l'installazione del PBI in sezioni non critiche per la linea (caso dei PBI lungo la linea Bergamo – Rovato).

4.2.19.1 Tratta Bergamo – Ponte S. Pietro

La tratta Bergamo – Ponte S. Pietro sarà percorsa, come ad oggi, dai servizi ferroviari R Bergamo – Lecco, con frequenza di 60', e dai servizi R Bergamo – Milano (via Carnate), con frequenza incrementata a 30'.

La specifica di distanziamento, per la tratta, vale:

$S_1 = 5 \text{ min}$. (Valore determinato al paragrafo 4.1.8.2)

Essendoci il PBI devono essere calcolate le tracce di sfrido a causa delle inversioni del blocco (si veda il paragrafo 2.6). Tale valore è definito dall'equazione (47):

$T_{1,PBI} = n/2 \cdot K_{PBI,l}$; nel caso in esame:

$n = 4$; desunto dal modello di esercizio previsto (in orari di punta e di morbida);

Considerando il grafico in Figura 14, con T_{pl} pari a 3 min si ottiene un $K_{PBI,l}$ pari a 0,45.

Pertanto in orari di punta, si ottiene un valore di tracce di sfrido:

$T_{1,PBI} = 1$.

4.2.19.2 *Tratta Carnate – Seregno*

La linea è percorsa dai servizi R Carnate – Seregno, con frequenza di 60', e dai servizi merci Lecco Maggianico – Chiasso, secondo lo stesso modello di esercizio attuale.

La specifica di distanziamento, per la tratta, vale:

$S_1 = 6,5 \text{ min}$. (Valore determinato al paragrafo 4.1.8.3)

Analogamente con quanto detto ai paragrafi precedenti, con un valore

$n = 2$; sia in orari di morbida che in orari di punta si ottiene:

$T_{1,PBI} = 1$.

4.3 Dati di input del modello

Con procedimento analogo a quello descritto nel paragrafo 3.2 si definiscono i valori di input del modello riportati in TAVOLA16, TAVOLA17, TAVOLA18, TAVOLA19, TAVOLA20, per lo scenario a regime.

4.4 Grado di utilizzazione

Con procedimento analogo a quello descritto nel paragrafo 3.3 si definiscono i valori del grado di utilizzazione riportati in TAVOLA19, TAVOLA23, per lo scenario a regime. In riferimento allo stesso procedimento vengono rappresentati graficamente i dati relativi al grado di utilizzazione in TAVOLA21, TAVOLA22, TAVOLA24, TAVOLA25.

4.5 Analisi del grado di utilizzazione riferito allo scenario attuale

Nel paragrafo di seguito si analizza e si commenta il grado di utilizzazione di linee e tagli calcolato secondo la procedura descritta, con particolare attenzione ai casi in cui esso si

presenta superiore al 95% e effettuando un confronto con i valori ottenuti nello scenario attuale.

4.5.1 Linee Milano Certosa – Rho (via “Varese”, via “Novara”, via AV)

Le linee Milano Certosa – Rho (via “Varese” e via AV) sono caratterizzate da grado di utilizzazione superiore al 95% per fasce orarie di punta (e anche in fasce di morbida per la sola linea “Varese”) e da grado di utilizzazione compreso tra 75% e 95% per la linea “via Novara”; compreso tra il 60% e il 75% nelle fasce di morbida (ad esclusione della linea “Varese”).

Il grado di utilizzazione, rispetto allo scenario attuale, presenta un peggioramento. Tale situazione è dovuta a modifiche al modello di esercizio sulla tratta, con incremento delle frequenze dei servizi circolanti e istituzione di nuovi servizi ferroviari (si vedano i paragrafi 4.2.10 e 4.2.18), a fronte di nessun intervento infrastrutturale previsto per incrementare la capacità delle tratte.

4.5.2 Linea Milano Certosa – P.M. Ghisolfi – Milano P. Garibaldi (via “Novara”)

La linea P.M. Ghisolfi – Milano P. Garibaldi via “Novara” è caratterizzata da grado di utilizzazione superiore al 95% per fasce orarie di punta e compreso tra 75% e 95% nelle fasce di morbida.

Il grado di utilizzazione, rispetto allo scenario attuale (si veda il paragrafo 3.4.10), presenta un peggioramento. Tale situazione è dovuta a modifiche al modello di esercizio sulla tratta, con incremento delle frequenze dei servizi circolanti e istituzione di nuovi servizi ferroviari (si vedano i paragrafi 4.2.10 e 4.2.18), a fronte di nessun intervento infrastrutturale previsto per incrementare la capacità delle tratte.

4.5.3 Linea Milano P. Garibaldi – Bivio Mirabello

La linea Milano P. Garibaldi – Bivio Mirabello è caratterizzata da grado di utilizzazione superiore al 95% per fasce orarie di punta e di morbida.

Il grado di utilizzazione, rispetto allo scenario attuale (si veda il paragrafo 3.4.10), presenta un peggioramento. Nello scenario attuale, infatti, la utilizzazione superiore al 95% è presente solo nelle fasce di punta. Tale situazione è dovuta a modifiche al modello di esercizio sulla tratta, con incremento delle frequenze dei servizi circolanti e istituzione

di nuovi servizi ferroviari (si vedano i paragrafi 4.2.6, 4.2.7 e 4.2.8), già attualmente a utilizzazione in fasce di punta, a fronte di nessun intervento infrastrutturale previsto per incrementare la capacità della tratta.

4.5.4 Linea Bivio Mirabello – Milano Greco Pirelli

La linea Bivio Mirabello – Milano Greco Pirelli è caratterizzata da grado di utilizzazione superiore al 95% per fasce orarie di punta e di morbida.

Il grado di utilizzazione, rispetto allo scenario attuale, presenta un peggioramento. Tale situazione è dovuta a modifiche al modello di esercizio sulla tratta, con incremento delle frequenze dei servizi circolanti e istituzione di nuovi servizi ferroviari (si vedano i paragrafi 4.2.6, 4.2.7 e 4.2.8), a fronte di nessun intervento infrastrutturale previsto per incrementare la capacità della tratta.

4.5.5 Linea Milano Greco Pirelli – Sesto S. Giovanni (via “Chiasso”)

La linea Milano Greco Pirelli – Sesto S. Giovanni (via “Chiasso”) è caratterizzata da grado di utilizzazione compreso tra il 75% e il 95% nelle fasce di punta e di morbida.

Il grado di utilizzazione, rispetto allo scenario attuale, presenta un lieve miglioramento. Gli interventi infrastrutturali previsti per incremento della capacità della tratta (si veda il paragrafo 4.1.10), a causa del forte incremento dei servizi ferroviari circolanti a regime (si vedano i paragrafi 4.2.6, 4.2.7 e 4.2.8) non realizzano una significativa riduzione dell’ utilizzazione. L’ intervento, pertanto, visto il modello di esercizio previsto, si rende indispensabile alla sua attuazione, in quanto, contrariamente, si andrebbe incontro a una situazione di forte insostenibilità.

4.5.6 Linea “Cintura”, tratta Milano Greco Pirelli – Milano Lambrate – Milano Rogoredo

La linea “Cintura”, per la tratta Milano Greco Pirelli – Milano Lambrate – Milano Rogoredo è caratterizzata da grado di utilizzazione superiore al 95% per fasce orarie di punta e di morbida (ad esclusione della tratta Milano Lambrate – Rogoredo, che, in fasce di morbida, presenta un grado di utilizzazione compreso tra il 75% e il 95%).

Il grado di utilizzazione, rispetto allo scenario attuale (si veda il paragrafo 3.4.10), presenta un peggioramento. Tale situazione è dovuta a modifiche al modello di esercizio

sulla tratta, con incremento delle frequenze dei servizi circolanti e istituzione di nuovi servizi ferroviari (si vedano i paragrafi 4.2.2 e 4.2.5), già attualmente a utilizzazione in fasce di punta, a fronte di nessun intervento infrastrutturale previsto per incrementare la capacità della tratta.

4.5.7 Linea Milano Porta Vittoria – Milano Lancetti

La linea Milano Porta Vittoria – Milano Lancetti è caratterizzata da grado di utilizzazione superiore al 95% per fasce orarie di punta e di morbida.

Il grado di utilizzazione, rispetto allo scenario attuale, presenta un peggioramento. Tale situazione è dovuta a modifiche al modello di esercizio sulla tratta, con incremento delle frequenze dei servizi circolanti e istituzione di nuovi servizi ferroviari (si veda il paragrafo 4.2.3), a fronte di nessun intervento infrastrutturale previsto per incrementare la capacità della tratta. Tuttavia questo scenario è quello che soddisfa le condizioni di progetto previste di regime per la linea.

4.5.8 Linea Milano Rogoredo – Codogno – Piacenza

Il grado di utilizzazione sulla linea, per le tratte critiche, rispetto allo scenario attuale (trattato dettagliatamente al paragrafo 3.4.8), si presenta alto e invariato, a parte per la tratta Milano Rogoredo – Melegnano LL, dove si ha un incremento del grado di utilizzazione, compreso tra il 75% e il 95% nelle fasce di punta e di morbida.

Tale situazione è dovuta a modifiche al modello di esercizio sulla tratta, con incremento delle frequenze dei servizi circolanti e istituzione di nuovi servizi ferroviari (si veda il paragrafo 4.2.2), già attualmente a utilizzazione in fasce di punta, a fronte di nessun intervento infrastrutturale previsto per incrementare la capacità delle tratte.

4.5.9 Linea Milano Rogoredo – Pavia

La linea Milano Rogoredo – Pavia è caratterizzata da grado di utilizzazione compreso tra il 75% e il 95% per fasce orarie di punta e di morbida.

Il grado di utilizzazione, rispetto allo scenario attuale (trattato dettagliatamente al paragrafo 3.4.9), presenta un miglioramento. Tale situazione è dovuta ad grado di utilizzazione già attualmente superiore al 95% in fasce di punta, a fronte di una riorganizzazione delle frequenze dei servizi circolanti sulla tratta.

4.5.10 Tratta Rho – Vittuone

La tratta Rho – Vittuone è caratterizzata da grado di utilizzazione superiore al 95% per fasce orarie di punta.

Il grado di utilizzazione, rispetto allo scenario attuale, presenta un peggioramento. Tale situazione è a modifiche al modello di esercizio sulla tratta, con istituzione di nuovi servizi ferroviari (si veda il paragrafo 4.2.18), a fronte di nessun intervento infrastrutturale previsto per incrementare la capacità della tratta.

4.5.11 Tratta Rho – Parabiago

L'intervento infrastrutturale di quadruplicamento della tratta Rho – Parabiago (descritto al paragrafo 4.1.3), che permetterà di ottenere una separazione dei flussi secondo i livelli di velocità, porterà a un notevole miglioramento del grado di utilizzazione rispetto allo scenario attuale (trattato dettagliatamente al paragrafo 3.4.4), malgrado modifiche al modello di esercizio sulle tratte, con incremento delle frequenze dei servizi circolanti e istituzione di nuovi servizi ferroviari (si veda il paragrafo 4.2.10).

Il grado di utilizzazione per la linea LL, infatti, si presenta compreso tra il 60% e il 75% in fasce di morbida e inferiore al 60% in fasce di punta. Per la linea DD, invece, si presenta inferiore al 60% sia in fasce di punta sia in fasce di morbida.

4.5.12 Tratta Parabiago – Gallarate

La tratta Parabiago – Gallarate è caratterizzata da grado di utilizzazione superiore al 95% per fasce orarie di punta e di morbida (ad eccezione della tratta Bivio S. Giorgio – Busto Arsizio, dove è compreso tra il 75% e il 95% sia in fasce di punta sia in fasce di morbida).

Il grado di utilizzazione, rispetto allo scenario attuale (trattato dettagliatamente al paragrafo 3.4.4), presenta un peggioramento. Nello scenario attuale, infatti, si ha un grado di utilizzazione superiore al 95% solo nelle fasce di punta. Tale situazione è dovuta a modifiche al modello di esercizio sulla tratta, con incremento delle frequenze dei servizi circolanti e istituzione di nuovi servizi ferroviari (si vedano i paragrafi 4.2.10, 4.2.11 e 4.2.14), già attualmente a utilizzazione in fasce di punta, a fronte di nessun intervento infrastrutturale previsto per incrementare la capacità della tratta.

4.5.13 Linee Gallarate – Laveno, Laveno – Luino e Sesto Calende – Laveno

Le linee Gallarate – Laveno e Laveno – Luino sono caratterizzate da grado di utilizzazione superiore al 95% per fasce orarie di punta e compreso tra 75% e 95% nelle fasce orarie di morbida.

Il grado di utilizzazione, rispetto allo scenario attuale (trattato dettagliatamente al paragrafo 3.4.1), si presenta invariato. Tale situazione è dovuta ad grado di utilizzazione già attualmente superiore al 95% in fasce di punta, a fronte di nessun intervento infrastrutturale previsto per incrementare la capacità della tratta. Le modifiche al modello di esercizio (si veda il paragrafo 4.2.12) non determinano variazioni del carico di traffico circolante.

La linea Sesto Calende – Laveno è caratterizzata da grado di utilizzazione inferiore a 60% sia in fasce di punta sia in fasce di morbida. Il grado di utilizzazione, rispetto allo scenario attuale (trattato dettagliatamente al paragrafo 3.4.2), si presenta in forte miglioramento. Tale situazione è dovuta alla soppressione dei servizi viaggiatori circolanti sulla linea e alla sua specializzazione in linea merci.

4.5.14 Linea Monza – Seregno

La linea Monza – Seregno è caratterizzata da grado di utilizzazione compreso tra il 75% e il 95% per fasce orarie di punta e di morbida.

Il grado di utilizzazione, rispetto allo scenario attuale (trattato dettagliatamente al paragrafo 3.4.5), presenta un miglioramento. Nello scenario attuale, infatti, si ha un grado di utilizzazione superiore al 95% nelle fasce di punta. Tale situazione si realizza, nonostante si abbiano modifiche al modello di esercizio sulla tratta, con incremento delle frequenze dei servizi circolanti e istituzione di nuovi servizi ferroviari (si veda il paragrafo 4.2.8), grazie all'intervento infrastrutturale previsto, finalizzato all'aumento della capacità ed efficace al modello di esercizio previsto (intervento descritto al paragrafo 4.1.10).

4.5.15 Tratta Monza – Carnate

La tratta Monza – Carnate è caratterizzata da grado di utilizzazione superiore al 95% per fasce orarie di punta e di morbida.

Il grado di utilizzazione, rispetto allo scenario attuale, presenta un peggioramento. Tale

situazione è dovuta a modifiche al modello di esercizio sulla tratta, con incremento delle frequenze dei servizi circolanti e istituzione di nuovi servizi ferroviari (si veda il paragrafo 4.2.6), a fronte di nessun intervento infrastrutturale previsto per incrementare la capacità della tratta.

4.5.16 Linea Monza – Molteno

La tratta Monza – Molteno è caratterizzata da un grado di utilizzazione compreso tra 60% e 75% sulla tratta Monza – Besana e compreso tra 75% e 95% sulla tratta Besana – Molteno sia in fasce di punta sia in fasce di morbida.

Il grado di utilizzazione, rispetto allo scenario attuale (trattato dettagliatamente al paragrafo 3.4.6), presenta un miglioramento. Tale situazione si realizza nonostante le modifiche al modello di esercizio sulla tratta, con incremento delle frequenze dei servizi circolanti (si veda il paragrafo 4.2.7), grazie agli interventi infrastrutturali previsti, che portano all'aumento della capacità ed efficaci al modello di esercizio previsto (interventi descritti ai paragrafi 4.1.8.5 e 4.1.8.6).

4.5.17 Linea Pioltello – Bivio Adda

La linea Pioltello – Bivio Adda via DD presenta un grado di saturazione compreso tra 95% e 75% in fasce orarie di punta e inferiore al 60% in fasce di morbida.

La linea Pioltello – Bivio Adda via LL presenta un grado di saturazione inferiore al 60% sia in fasce orarie di punta sia in fasce orarie di morbida.

Il grado di utilizzazione, rispetto allo scenario attuale (trattato dettagliatamente al paragrafo 3.4.7), presenta un miglioramento. Le modifiche al modello di esercizio sulla tratta (si veda il paragrafo 4.2.5), con una miglior ripartizione dei carichi di traffico tra linea DD e linea LL, secondo i livelli di velocità, realizzano una sensibile riduzione del grado di utilizzazione sulla linea DD.

4.5.18 Nuova tratta Varese – P.P. Induno

La nuova tratta Varese – P.P. Induno è caratterizzata da grado di utilizzazione superiore al 95% per fasce orarie di punta e compreso tra 75% e 95% nelle fasce orarie di morbida.

La nuova infrastruttura, per le caratteristiche infrastrutturali di cui è dotata (si veda il paragrafo 4.1.2) e per il modello di esercizio previsto (si veda il paragrafo 4.2.14) nasce

satura in orari di punta.

L'alto grado di utilizzazione è dovuto quindi a un carico di traffico sostenuto e a un modello di esercizio che prevede molte inversioni del blocco, provocando così un alto numero di tracce di sfrido su linee con PBI.

4.5.19 Linee dei bacini bergamasco e lecchese

Gli interventi infrastrutturali previsti per le linee afferenti ai bacini bergamasco e lecchese (interventi descritti dettagliatamente al paragrafo 4.1.8) portano a un miglioramento del grado di utilizzazione sulle tratte interessate. I benefici ottenuti sulla linea Monza – Molteno sono già stati descritti al paragrafo 4.5.16. Si ottengono sensibili benefici anche sulle linee Bergamo – Ponte S. Pietro, Ponte S. Pietro – Carnate, Carnate – Seregno e Bergamo – Rovato, ove comunque, allo stato attuale, non si ha un grado di utilizzazione superiore al 95%. In tutti i casi infatti, malgrado le modifiche al modello di esercizio, con incremento delle frequenze dei servizi circolanti (si veda il paragrafo 4.2.6) e con attivazione di sezione critica caratterizzata da PBI (si veda il paragrafo 4.2.19), si ha un grado di utilizzazione inferiore al 60% in fasce di morbida e in fasce di punta o compreso tra il 60% e il 75%.

Gli interventi previsti, oltre che essere efficaci per un miglioramento del grado di utilizzazione, avranno notevole influenza anche per il miglioramento della regolarità. La possibilità di effettuare ingressi contemporanei, con deviate a 60 km/h, infatti, permette una circolazione più snella e, quindi, maggior facilità di riassorbimento di perturbazioni alla circolazione.

4.5.20 Linea Treviglio – Rovato – Brescia

La linea Treviglio – Rovato – Brescia è caratterizzata da un grado di utilizzazione compreso tra 95% e 75% in fasce di punta e compreso tra 60% e 75% in fasce di morbida.

Il grado di utilizzazione, rispetto allo scenario attuale, presenta un miglioramento. Tale situazione si realizza nonostante le modifiche al modello di esercizio sulla tratta, con incremento delle frequenze dei servizi circolanti e istituzione di nuovi servizi ferroviari (si veda il paragrafo 4.2.5), grazie all'attivazione della nuova linea AV Bivio Adda – Brescia Scalo (intervento descritto al paragrafo 4.1.1). L'istradamento dei servizi ESC Milano – Venezia sulla nuova infrastruttura, infatti, porta a una riduzione dell'

utilizzazione della linea storica. Sulla linea storica, infatti, si avrà un'eterotachia caratterizzata non più da 3 livelli di velocità, ma da 2.

4.5.21 Tagli di Milano Certosa, Milano Porta Garibaldi, Bivio Mirabello, Milano Greco Pirelli

I tagli di Milano Certosa, Milano Porta Garibaldi, Bivio Mirabello, Milano Greco Pirelli presentano un grado di utilizzazione relativizzato a Bivio Mirabello (nello scenario attuale) superiore al 95% in fasce di punta.

I casi citati presentano un peggioramento del grado di utilizzazione rispetto allo scenario attuale (trattato dettagliatamente ai paragrafi 3.4.12, 3.4.13, 3.4.14 e 3.4.15)

L'alto grado di utilizzazione è dovuto al basso valore di velocità massima dei percorsi devianti, pari a 30 km/h (a parte il caso di Bivio Mirabello, percorribile in itinerario deviato a 60 km/h), e all'alto carico di flussi di traffico che percorrono l'interferenza in itinerario di corretto tracciato e in itinerario deviato. Il modello di esercizio a regime, infatti, ha previsto incrementi di traffico per le tratte citate (si vedano i paragrafi 4.2.5, 4.2.6, 4.2.7, 4.2.8, 4.2.9, 4.2.10, 4.2.18), ma non sono previsti interventi infrastrutturali finalizzati a de-saturare i tagli delle situazioni citate, che presentano già nello scenario attuale un grado di utilizzazione relativizzato a Bivio Mirabello superiore al 95% in fasce di punta.

4.5.22 Taglio di Monza in radice sud

Il taglio di Monza in radice sud presenta un grado di utilizzazione relativizzato a Bivio Mirabello (nello scenario attuale) superiore (per un taglio) al 95% in fasce di punta.

Il grado di utilizzazione dei tagli di Monza in radice sud presenta un peggioramento rispetto allo scenario attuale (trattato dettagliatamente al paragrafo 3.4.19) in fasce di morbida e nelle fasce di punta.

L'alto grado di utilizzazione è dovuto alle modifiche al modello di esercizio, con incremento delle frequenze dei servizi circolanti e istituzione di nuovi servizi ferroviari (si vedano i paragrafi 4.2.6, 4.2.7 e 4.2.8), a fronte di interventi infrastrutturali efficaci unicamente a mantenerlo invariato rispetto allo scenario attuale (intervento descritto al paragrafo 4.1.5). L'intervento, pertanto, visto il modello di esercizio previsto, si rende indispensabile alla sua attuazione, in quanto, contrariamente, si andrebbe incontro a una situazione di forte insostenibilità.

4.5.23 Tagli di Milano Lambrate

L'attuazione degli interventi infrastrutturali previsti nel PRG di Milano Lambrate (si veda il paragrafo 4.1.9) permetteranno l'eliminazione dei tagli di Milano Lambrate in radice sud sui binari VIII e IX e del taglio in radice nord sul binario II.

Il beneficio maggiore derivato dall'intervento è l'eliminazione del taglio in radice in radice nord sul binario II che si presenta, nello scenario attuale, con grado di utilizzazione superiore al 95% (si veda il paragrafo 3.4.17). I tagli in radice sud sui binari VIII e IX non si presentano eccessivamente gravosi, pertanto la loro eliminazione risulta di secondaria importanza rispetto all'eliminazione del taglio in radice nord sul binario II.

4.5.24 Tagli di Rho in radice ovest

L'attuazione degli interventi infrastrutturali previsti nel PRG di Rho (si veda il paragrafo 4.1.3) permetterà l'eliminazione dei tagli in radice ovest di Rho. L'intervento, visto il modello di esercizio previsto, si rende indispensabile alla sua attuazione, in quanto, contrariamente, si andrebbe incontro a una situazione di forte insostenibilità.

4.5.25 Nuovo taglio di P.C. S. Giorgio

Il nuovo taglio di P.C. S. Giorgio in radice nord presenta un grado di utilizzazione relativizzato a Bivio Mirabello (nello scenario attuale) superiore al superiore al 95% in fasce di punta e compreso tra 75% e 95% in fasce di morbida.

Esso è costituito da un punto di interferenza con deviate a 60km/h.

È percorso in itinerario di corretto tracciato dai servizi della linea Milano – Gallarate, ovvero i servizi merci, EC Milano – Domodossola, RV Milano P. Garibaldi – Arona/Domodossola, RE Milano Centrale – Domodossola, RE Milano – Varese, RV spot Milano – Luino, S5 Treviglio – Gallarate. È percorso in itinerario deviato dai servizi verso Malpensa, ovvero i servizi di nuova istituzione RE Milano Centrale – Rho Fiera – Malpensa.

L'alto grado di utilizzazione è dovuto all'alto carico di flussi di traffico che percorrono l'interferenza in itinerario di corretto tracciato e in itinerario deviato.

4.5.26 Tagli di Pioltello in radice ovest

Le modifiche al modello di esercizio per la linea Milano – Pioltello – Bivio Adda (si veda

il paragrafo 4.2.5) porteranno all'eliminazione del taglio in radice ovest sul binario I, per il fatto che non verranno più attestati servizi in binario I tronco. Si genereranno tagli in radice ovest sui binari II e III, dovuti all'istradamento dei flussi provenienti da Milano Smistamento verso la linea LL. I tagli che si generano, tuttavia, non sono gravosi in quanto presentano tutti un grado di utilizzazione relativizzato a Bivio Mirabello (nello scenario attuale) compreso tra il 75% e il 95% in fasce di punta. Con le modifiche al modello di esercizio, inoltre, si ottiene una riduzione dell'utilizzazione del taglio in radice ovest sul binario IV. Esso, infatti, passa da un valore superiore al 95% (nello scenario attuale) a un valore compreso tra il 75% e il 95% nello scenario previsto a regime.

4.5.27 Taglio di Gallarate in radice sud

Il taglio di Gallarate in radice sud presenta un grado di utilizzazione relativizzato a Bivio Mirabello (nello scenario attuale) superiore al 95% in fasce di punta e compreso tra 75% e 95% in fasce di morbida.

Esso è costituito da un punto di interferenza con deviate a 60km/h.

È percorso in itinerario di corretto tracciato dai servizi della linea Milano – Domodossola, ovvero i merci verso Luino (via Ispra) e verso Domodossola, EC Milano – Domodossola, RV Milano P. Garibaldi – Arona/Domodossola, RE Milano Centrale – Domodossola. È percorso in itinerario deviato dai servizi verso Varese e Luino, ovvero RE Milano P. Garibaldi – Varese, R Gallarate/Malpensa – Luino/Bellinzona, R spot Luino – Milano, S5 Treviglio – Varese.

Il grado di utilizzazione del taglio di Gallarate in radice sud presenta un peggioramento rispetto allo scenario attuale. Tale situazione è dovuta a modifiche al modello di esercizio sulla tratta Rho – Parabiago – Gallarate, con incremento delle frequenze dei servizi circolanti e istituzione di nuovi servizi ferroviari (si vedano i paragrafi 4.2.10 e 4.2.14). La situazione tuttavia non si ritiene tanto critica da prevedere ulteriori interventi volti a mitigare il grado di saturazione.

4.5.28 Taglio di Seregno in radice sud

Il taglio di Seregno in radice sud presenta un grado di utilizzazione relativizzato a Bivio Mirabello (nello scenario attuale) superiore al 95% in fasce di punta e in fasce di morbida.

Il grado di utilizzazione del taglio di Seregno in radice sud presenta un peggioramento rispetto allo scenario attuale. Tale situazione è dovuta a modifiche al modello di esercizio sulla tratta Monza – Seregno – Como, con incremento delle frequenze dei servizi circolanti, nuovi attestamenti a Seregno e istituzione di nuovi servizi ferroviari (si veda il paragrafo 4.2.8), che portano ad aumentare il grado di utilizzazione del taglio citato.

4.5.29 Taglio di Brescia in radice ovest

Il taglio di Brescia in radice ovest presenta un grado di utilizzazione relativizzato a Bivio Mirabello (nello scenario attuale) superiore al 95% in fasce di punta e inferiore al 60% in fasce di morbida.

Il grado di utilizzazione del taglio di Brescia in radice ovest presenta un miglioramento rispetto allo scenario attuale (trattato dettagliatamente al paragrafo 3.4.20). Tale situazione è dovuta a modifiche al modello di esercizio sulla tratta Pioltello – Brescia, con istradamento dei servizi ESC sulla linea AV (si veda il paragrafo 4.2.5) e conseguente riduzione dei servizi circolanti sulla linea storica, che permette di de-saturare il taglio considerato.

4.6 Osservazioni sul grado di utilizzazione a regime

Lo scenario a regime presenta un grado di utilizzazione elevato su alcune linee interne ed esterne al nodo di Milano. I motivi sono riconducibili soprattutto a modifiche al modello di esercizio, che prevedono incremento di frequenza di servizi ferroviari esistenti e istituzione di nuovi servizi ferroviari. Gli interventi infrastrutturali previsti al fine dell'incremento della capacità sono funzionali al modello di esercizio previsto, anche se permangono situazioni in cui il grado di utilizzazione permane critico, talvolta maggiormente dello scenario attuale. Devono pertanto essere previsti ulteriori interventi sull'infrastruttura o modifiche al modello di esercizio al fine di incrementare la capacità di alcune linee e tratte.

Per quel che riguarda i tagli lo scenario di regime presenta molte situazioni di alta utilizzazione. Anche in questo caso i motivi sono riconducibili a modifiche al modello di esercizio, che prevedono incremento di frequenza di servizi ferroviari esistenti e istituzione di nuovi servizi ferroviari. Gli interventi infrastrutturali previsti sono funzionali alla riduzione del grado di utilizzazione e, talvolta, all'eliminazione di tagli

esistenti. Alcuni interventi sono indispensabili all'attuazione del modello di esercizio, per non generare situazioni di insostenibilità. Permangono tuttavia situazioni di criticità e si devono prevedere interventi infrastrutturali o modifiche al modello di esercizio al fine di de-saturare alcuni tagli esistenti.

Capitolo 5: Scenario del grado di utilizzazione con proposte di interventi infrastrutturali

A seguito dell'analisi condotta per lo scenario infrastrutturale e di modello di esercizio attuali e a regime, si avanzano proposte di modifiche infrastrutturali e di modello di esercizio finalizzate a risolvere le situazioni in cui permangono criticità. Si espone dapprima un metodo di indagine per l'analisi delle maggiori criticità infrastrutturali sulle tratte sature secondo lo scenario a regime. Si elencano e analizzano sinteticamente successivamente le proposte di potenziamento infrastrutturale implementate nel modello e le modifiche proposte al modello di esercizio. Sulla base delle suddette modifiche viene condotto il calcolo del grado di utilizzazione con procedimento analogo a quello descritto nei capitoli precedenti.

5.1 Metodo per l'analisi delle criticità su tratte sature

Si propone nei paragrafi di seguito un metodo per un'analisi infrastrutturale approfondita, che verrà applicato alle tratte sature, al fine di analizzare nel dettaglio le cause di criticità. Non viene trattato il caso di analisi per linee a doppio binario in BEM o in BCA in quanto, nella rete considerata, non si presentano situazioni di elevata utilizzazione per infrastruttura riconducibile a questa casistica.

5.1.1 Linee a doppio binario in BAcc

La metodologia presentata prende spunto da un'analisi condotta al fine di fornire un supporto per la compilazione dell'Allegato B1 dello Scenario Tecnico, relativamente alle specifiche di distanziamento, nonché per la ricognizione della lunghezza delle distanze tra i segnali incontrati dai treni, che, a seguito dei lavori che hanno interessato tutti i nodi, hanno in genere subito rimaneggiamenti rispetto alle situazioni originarie di installazione dei blocchi.

Il metodo si propone, per ciascuna linea con grado di utilizzazione superiore al 95%, di fornire una specifica di distanziamento calcolata sulla base dell'effettiva lunghezza della sezione critica della tratta considerata. La specifica calcolata verrà confrontata con quella fornita dallo Scenario Tecnico, verificandone la correttezza, e sarà adottata per il calcolo della capacità effettiva della tratta. L'algoritmo di calcolo è sviluppato attraverso un file creato con il software Microsoft Excel.

5.1.1.1 Raccolta dati tecnici

Nel foglio di calcolo è necessario inserire, tratta per tratta, le distanze tra un segnale e il successivo nell'ordine in cui sono incontrati dal treno, riferendosi al itinerario di corretto tracciato o, se non esistente, al più corretto tracciato, considerando sia il senso pari sia il senso dispari. Nella prima cella relativa a ciascun senso (pari e dispari) è necessario inserire la distanza tra il segnale di partenza unico od interno ed il successivo segnale di prima categoria, proseguendo poi, nelle celle successive della stessa riga, inserendo la distanza fino al segnale di prima categoria successivo e terminando al segnale di partenza interno della località successiva. Nel caso di località dotate del solo segnalamento di protezione (es. bivi) si adotta, come segnale delimitante di tratta, il segnale di protezione della località oppure il segnale successivo a seconda del senso di marcia, di modo che siano coperte tutte le diramazioni in entrambi i sensi. Le informazioni necessarie possono essere ricavate dai Piani Schematici e dai Fascicoli Linea.

5.1.1.2 Determinazione della sezione critica

L'algoritmo restituisce il valore della lunghezza critica tratta per tratta, separato per senso di marcia (pari e dispari), ed evidenziando la cella che caratterizza la criticità. L'evidenziazione della posizione della sezione critica permette di dedurre se la criticità della tratta debba essere imputata a sezioni di blocco in linea o a caratteristiche degli impianti che delimitano la tratta.

5.1.1.3 Determinazione della specifica di distanziamento

La specifica di distanziamento sulla base della presente analisi si calcola facendo riferimento alla tabella in 0, inserendo, come valore di lunghezza di sezione, la lunghezza massima tra le sezioni della tratta valutata su entrambi i sensi di marcia (pari e dispari). Il valore ricavato viene confrontato con quello attualmente presente nello Scenario Tecnico e viene adottato, nello scenario considerato, in sostituzione di quello precedentemente considerato

5.1.1.4 Risultati

Si riportano in Tabella 1 i risultati dell'analisi e la nuova specifica adottata, verificandone la coerenza con i valori dallo Scenario Tecnico, evidenziando l'entità dell'eventuale divergenza e precisando la posizione della criticità (linea o stazione).

Linea	tratta	lunghezza sezione critica D/P [m]	Sp.reale [min]	Sp. da scenario tecnico	Confronto	diff. [min]	sezione critica
Monza - Carnate	Monza - Arcore	1677 / 1905	6	5,5	ko	-0,5	st. Arcore / st. Monza
	Arcore - Carnate	1477 / 1438	5,5	5,5	ok	0	st. Arcore
Milano Rog. - Codogno	Milano Rog. - Melegnano LL	1840 / 1445	6	5,5	ko	-0,5	linea
	Melegnano - Tavazzano LL	1880 / 1376	6	5,5	ko	-0,5	st. Tavazzano
	Tavazzano - Lodi	1825 / 1889	6	6	ok	0	st. Tavazzano / st. Lodi
	Lodi - Secugnago	1729 / 1776	6	6	ok	0	linea
Milano Rog. - Pavia	Secugnago - Casalpusterlengo	1695 / 1679	6	6	ok	0	st. Secugnago / linea
	Casalpusterlengo - Codogno	1858 / 1852	6	6	ok	0	st. Casalpusterlengo / st. Codogno
	Milano Rog. - Bivio Melegnano DD	1873 / 1687	6	6	ok	0	st. Bivio Melegnano
	Milano Rog. - Locate T.	1835 / 1720	6	5,5	ko	-0,5	st. Mi Rog. / linea
Rho - Novara	Locate T. - Certosa di Pavia	1566 / 1402	5,5	5,5	ok	0	linea
	Certosa di Pavia - Pavia	1428 / 1613	5,5	5,5	ok	0	st. Pavia / linea
	Rho - Vittuone	1519 / 1749	6	5,5	ko	-0,5	st. Rho
	Vittuone - Magenta	1735 / 1956	6	5,5	ko	-0,5	linea / st. Vittuone
Parabiago - Gallarate	Parabiago - Legnano	1511 / 1364	5,5	5,5	ok	0	linea
	Legnano - Busto Arsizio	1598 / 1709	6	5,5	ko	-0,5	linea
	Busto Arsizio - Gallarate	1875 / 1791	6	5,5	ko	-0,5	st. Gallarate / st. Busto
Rho - Mi certosa	Rho - Certosa via VA	1496 / 1362	5,5	5,5	ok	0	linea
	Rho - Certosa via NO	1496 / 1362	5,5	5,5	ok	0	linea
	Rho - Certosa via AV	1814 / 1555	6	5,5	ko	-0,5	linea

Tabella 1: risultati dell'analisi delle sezioni

5.1.1.5 *Soluzioni infrastrutturali possibili*

Sulla base delle criticità emerse si propongono soluzioni infrastrutturali possibili per ciascuna linea critica. Le soluzioni proposte sono volte soprattutto alla riduzione delle specifiche di distanziamento della linea, al fine di incrementarne la capacità, tenendo conto dei vincoli infrastrutturali e del modello di esercizio previsto.

5.1.2 Linee a semplice binario in BCA o BEM

Per le linee a semplice binario in BCA o BEM l'analisi si concentra sulla sezione critica della linea. Si individuano interventi infrastrutturali volti a incrementare la capacità della sezione critica. Di seguito vengono analizzate le principali tipologie di intervento considerate efficaci per l'incremento della capacità su linee a semplice binario. A seguito dell'attuazione degli interventi infrastrutturali sulle sezioni critiche si deve poi ricalcolare il valore della specifica per il calcolo della capacità, la quale sarà riferita a una nuova sezione critica, non necessariamente coincidente con la precedente, in quanto su essa sono stati attuati interventi di potenziamento.

La prima tipologia di intervento considerata è finalizzata alla riduzione delle specifiche di incrocio, permettendo gli incroci con ingressi contemporanei, garantendo l'assenza di percorsi di attraversamento a raso dei binari da parte dei viaggiatori e l'indipendenza di ferro tra gli itinerari di arrivo, comprese le loro prosecuzioni, oppure, in taluni casi, la loro convergenza ad almeno 100 metri oltre il segnale a via impedita. Tale intervento infrastrutturale si rivela efficace su linee con una prevalenza di traffico viaggiatori, con modello di esercizio a orario cadenzato simmetrico e caratterizzato da uno o più livelli di velocità, in situazioni per le quali la sezione critica è utilizzata prevalentemente in alternanza tra i due sensi.

La seconda tipologia di intervento considerata riguarda l'aggiunta di un PBI nella sezione critica, finalizzata a ridurre la specifica di distanziamento sulla tratta nella quale esso viene installato. Tale intervento infrastrutturale si rivela efficace su linee con traffico promiscuo merci e viaggiatori, ove l'incremento delle specifiche di distanziamento per treni al seguito può rivelarsi efficace per incrementare la capacità.

Si considera inoltre l'eventualità di aggiunta di un P.M. intermedio in una tratta critica, in corrispondenza di una fermata (che verrà trasformata, a seguito dell'intervento, in stazione), o in piena linea.

5.2 Proposte di interventi infrastrutturali

A seguito dell'analisi approfondita delle criticità infrastrutturali si propongono di seguito, per ogni linea con grado di utilizzazione nello scenario di regime superiore al 95%, interventi sull'infrastruttura finalizzati a abbassare il grado di utilizzazione. Le linee e i posti movimento ove vengono proposti interventi infrastrutturali sono evidenziati in TAVOLA26.

5.2.1 Linea Monza – Carnate – Calolziocorte

Sulla tratta Monza – Carnate si propone, come intervento prioritario, la riduzione di lunghezza delle sezioni di blocco, portandole alla lunghezza di 900 m. Tale intervento porta a un incremento della capacità della tratta, indispensabile per sostenere il modello di esercizio previsto a regime (si veda il paragrafo 4.2.6).

La specifica di distanziamento, applicando l'equazione (39), è di:

$S_1 = Dn_1$; poiché la linea è a doppio binario in BAcc (si vedano i paragrafi 2.4 e 1.2.3).

Si ipotizzano sezioni di lunghezza massima di 1000 m. Considerando treni con velocità di impostazione di 140 km/h, facendo riferimento alla tabella in 0, si ottiene una specifica di distanziamento di:

$Dn_1 = 4\text{min}$; perciò:

$S_1 = 4\text{min}$.

Lo stesso valore si ottiene, sempre facendo riferimento alla tabella in 0, considerando treni merci con frenatura di tipo viaggiatori con velocità di impostazione di 110 km/h.

L'intervento precedentemente descritto deve tenere conto anche della sistemazione degli itinerari di partenza e arrivo della stazione di Arcore, in quanto anche essi risultano di lunghezza rilevante e, in alcuni casi, critica per le tratte che la stazione delimita.

5.2.2 Linea Milano Rogoredo – Lodi – Codogno

Sulle tratte Milano Rogoredo – Tavazzano (via LL) e Tavazzano – Lodi Codogno si propone, come intervento prioritario, la riduzione di lunghezza delle sezioni di blocco, portandole alla lunghezza di 900 m. Tale intervento porta a un incremento della capacità della tratta, indispensabile per sostenere il modello di esercizio previsto a regime (si veda il paragrafo 4.2.2). Analogamente a quanto affermato al paragrafo 5.2.1 si ottiene una specifica di distanziamento pari a:

$S_1 = 4\text{min}$.

L'intervento precedentemente descritto deve tenere conto anche della sistemazione degli itinerari di partenza e arrivo delle stazioni di Tavazzano, Lodi, Casalpusterlengo, Codogno e Secugnago, in quanto anche essi risultano di lunghezza rilevante e, in alcuni casi, critica per le tratte che le stazioni delimitano.

5.2.3 Linea Milano Rogoredo - Pavia

Sulla tratta Milano – Pavia si propone, come intervento prioritario, la riduzione di lunghezza delle sezioni di blocco, portandole alla lunghezza di 900 m. Tale intervento porta a un incremento della capacità della tratta, indispensabile per sostenere il modello di esercizio previsto a regime (uguale all'attuale). Analogamente a quanto affermato al paragrafo 5.2.1 si ottiene una specifica di distanziamento pari a:

$S_1 = 4\text{min}$.

L'intervento precedentemente descritto deve tenere conto anche della sistemazione degli itinerari di partenza e arrivo delle stazioni di Milano Rogoredo Locate Triulzi, Certosa di Pavia e Pavia, in quanto anche essi risultano di lunghezza rilevante e, in alcuni casi, critica per le tratte che le stazioni delimitano.

5.2.4 Linea Rho – Magenta – Novara

Sulla linea Rho – Magenta – Novara si propone di riprogettare la lunghezza degli itinerari di stazione di Rho e Vittuone e di alcune sezioni di blocco critiche in linea. Esistono alcune sezioni di lunghezza eccessivamente superiore alle altre, mentre la maggior parte delle sezioni ha una lunghezza intorno ai 1350 m. Ridisegnando le sezioni di blocco in modo tale da ottenere una lunghezza di sezione compresa tra 1250 m e 1475 m si può ridurre la specifica di distanziamento da 5,5' a 5', per analogia con quanto affermato al paragrafo 5.2.1, sufficiente per soddisfare i volumi di traffico previsti (si veda il paragrafo 4.2.18) e meno costosa della riprogettazione delle sezioni di blocco con lunghezza di 900 m. L'intervento è fortemente consigliato per la tratta Rho – Magenta ed è eventualmente estendibile fino a Trecate. Risulta poco attuabile e di maggior difficoltà attuativa sulla tratta Trecate – Novara a causa di sezioni di lunghezza più irregolare e maggiore.

5.2.5 Tratta Parabiago – Gallarate

Sulla tratta Parabiago – Gallarate si propone, come intervento prioritario, la riduzione di lunghezza delle sezioni di blocco, portandole alla lunghezza di 900 m. Tale intervento porta a un incremento della capacità della tratta, indispensabile per sostenere il modello di esercizio previsto a regime (si vedano i paragrafi 4.2.10 e 4.2.14). Analogamente a quanto affermato al paragrafo 5.2.1 si ottiene una specifica di distanziamento pari a:

$$S_1 = 4 \text{ min} .$$

L'intervento precedentemente descritto deve tenere conto anche della sistemazione degli itinerari di partenza e arrivo delle stazioni di Bivio S. Giorgio e Busto Arsizio in quanto anche essi risultano di lunghezza rilevante e, in alcuni casi, critica per le tratte che le stazioni delimitano.

5.2.6 Linea Gallarate – Laveno

Sulla linea Gallarate – Laveno si propone, come intervento prioritario, la velocizzazione a 60 km/h degli itinerari di ingresso e di uscita in tutte le stazioni, con realizzazione di sottopassi per l'eliminazione dei percorsi di attraversamento a raso dei binari da parte dei viaggiatori e tronchini per l'indipendenza di ferro tra gli itinerari di arrivo. Il modello di esercizio a regime (si veda il paragrafo 4.2.12), infatti, prevede, per la linea, un servizio promiscuo viaggiatori e merci, caratterizzato da una fitta componente di volume di traffico merci e una maglia cadenzata simmetrica di servizi viaggiatori, con alcuni servizi spot in fasce di punta. Essendo un esercizio promiscuo (servizi cadenzati e non cadenzati) e di fitto traffico, per una buona fruibilità della linea si rende opportuno attuare interventi di velocizzazione in tutte le stazioni.

La specifica di distanziamento per la linea, applicando l'equazione (40), è definita come:

$$S_1 = \max(T_{p1} + z_1 ; D_{p1}) ; \text{ con:}$$

$T_{p1} = \text{sblocco} = 4 \text{ min}$; tale valore è inferiore di 1 min rispetto all'attuale tempo di bloccamento critico grazie alla velocizzazione degli itinerari in ingresso e in uscita (sezione critica: Gallarate – Mornago) ;

$D_{p1} = T_{p1} + 2 \text{ min}$; in quanto la linea è in BCA (si vedano i paragrafi 2.4 e 1.2.3);

$z_1 = 2 \text{ min}$, considerando il caso standard (si vedano i paragrafi 2.4 e 1.2.4); perciò:

$$S_1 = 6 \text{ min}$$

5.2.7 Linea Laveno – Luino

Sulla linea Laveno – Luino si propone, come intervento prioritario, l'aggiunta di PBI in posizione centrale tra le stazioni di Laveno e Porto Valtravaglia e tra Porto Valtravaglia e Luino. Il modello di esercizio a regime (si vedano i paragrafi 4.2.12 e si faccia riferimento allo scenario attuale per i servizi provenienti dalla linea Laveno – Sesto Calende), infatti, prevede, per la linea, un servizio promiscuo viaggiatori e merci, caratterizzato da una fitta componente di volume di traffico merci (con una componente proveniente anche dalla linea Sesto Calende – Laveno) e una maglia cadenzata simmetrica di servizi viaggiatori, con alcuni servizi spot in fasce di punta. L'aggiunta di PBI si rivela efficace per la riduzione delle specifiche di distanziamento per treni al seguito. Le modifiche infrastrutturali, tuttavia, sono subordinate allo studio di un modello di esercizio che consideri anche le tracce merci e che renda efficace l'utilizzo dei PBI, minimizzando le inversioni del blocco al fine di ridurre le tracce di sfrido dovute al PBI (si veda il paragrafo 2.6).

La specifica di distanziamento, applicando l'equazione (40), è definita come:

$S_1 = D_{p1}$; in quanto la linea è a semplice binario con PBI (si veda il paragrafo 2.4);

$D_{p1} = T_{p1} + 2 \text{ min}$; in quanto la linea è in BCA (si vedano i paragrafi 2.4 e 1.2.3); perciò:

$T_{p1} = \text{sblocco} = 4,5 \text{ min}$; ovvero la metà del tempo di bloccamento attuale per la sezione critica della tratta in esame, essendo previsto il PBI in posizione centrale.

$S_1 = 6,5 \text{ min}$.

Per il funzionamento del modello si ipotizza un modello di esercizio con inversione del blocco 2 volte all'ora in orari di punta e di morbida. Essendoci il PBI devono essere calcolate le tracce di sfrido a causa delle inversioni del blocco. Tale valore è definito dall'equazione (47):

$T_{1,PBI} = n/2 \cdot K_{PBI,l}$; nel caso in esame:

$n = 2$;

Considerando il grafico in Figura 14, con T_{p1} pari a 4,5 min, interpolando linearmente i valori, si ottiene un $K_{PBI,l}$ pari a 0,53. Pertanto si ottiene un valore di tracce di sfrido:

$T_{1,PBI} = 1$.

5.2.8 Linea Varese – Porto Ceresio – Mendrisio

La tratta Varese – P.P. Induno, per le caratteristiche infrastrutturali di cui sarà dotata (si veda il paragrafo 4.1.2) e per il modello di esercizio previsto a regime (si veda il

paragrafo 4.2.14) presenta un grado di utilizzazione superiore al 95%. L'intervento consigliato, per ridurre tale valore, è uno studio di fattibilità di raddoppio della linea nel tratto Varese – (Ponte sull'Olona), al fine di ridurre la sezione a semplice binario che determina l'alto valore di utilizzazione. Vi sono tuttavia oggettive problematiche di raddoppio nel tratto di attraversamento urbano della Città di Varese.

Per la stessa tratta sono consigliabili modifiche al modello di esercizio volte a minimizzare le inversioni del blocco del PBI, al fine di ridurre le tracce di sfrido ad esso dovute (si veda il paragrafo 2.6).

5.2.9 Linee del nodo di Milano

L'intervento descritto di seguito trova applicazione sulle linee con alto grado di utilizzazione interne al nodo di Milano, in particolare:

- Milano Rogoredo – P.M. Trecca via “merci”;
- P.M. Trecca – Milano Lambrate via “Cintura”;
- Milano Lambrate – Milano Greco Pirelli;
- Milano Porta Garibaldi – Bivio Mirabello;
- Bivio Mirabello – Milano Greco Pirelli;
- Milano Porta Garibaldi – P.M. Ghisolfi – Milano Certosa via “Novara”;
- Milano Certosa – Rho (via AV, via Novara e via Varese).

Per le linee citate si propone, come intervento prioritario, la riduzione di lunghezza delle sezioni di blocco, portandole alla lunghezza di 900 m. Tale intervento porta a un incremento della capacità delle tratte, indispensabile per sostenere il modello di esercizio previsto a regime. Analogamente a quanto affermato al paragrafo 5.2.1 si ottiene una specifica di distanziamento pari a:

$S_1 = 4\text{min}$.

L'intervento precedentemente descritto deve tenere conto anche della sistemazione degli itinerari di partenza e arrivo di tutte le stazioni coinvolte in quanto anche essi risultano di lunghezza rilevante e, in alcuni casi, critica per le tratte che le stazioni delimitano.

5.2.10 Stazione di Milano Certosa

L'intervento prevede la velocizzazione dell'itinerario AV nella stazione di Milano Certosa. Il modello di esercizio attuale prevede che tutti i treni AV transitanti per Milano Porta Garibaldi debbano percorrere a Milano Certosa in radice Est un itinerario a 30 km/h (con interferenti i movimenti pari e dispari). Si propone di costruire due collegamenti a 60 km/h in radice ovest.

I tagli che si generano in radice ovest hanno caratteristiche per essere percorsi, in deviata, a una velocità di 60 km/h. Si ipotizza una specifica di interferenza in itinerario di corretto tracciato, rifacendosi al caso generale più frequente sulla rete, pari a:

$S_{p_{t,corr.}} = 3 \text{ min}$ (si veda la definizione in equazione (57))

Da cui si ottiene, come elemento del vettore dei pesi dei tagli in itinerario di corretto tracciato, il valore di:

$m_t = 3$; (si veda la definizione del vettore al paragrafo 2.8).

Facendo riferimento al caso generale, per quel che riguarda i tagli e le specifiche di interferenza in deviata (cfr. paragrafi 1.2.6 e 1.4), si ottiene, come elemento del vettore dei pesi dei tagli in itinerario deviato, il valore di:

$n_t = 3,5$; (si veda la definizione del vettore al paragrafo 2.8).

L'intervento è di prioritaria importanza in quanto, allo stato attuale, i tagli generati dagli itinerari interferenti dei servizi AV sono tra i più gravosi di quelli considerati nell'analisi.

5.2.11 Stazione di Milano Porta Garibaldi

L'intervento prevede l'attuazione del PRG di Milano Porta Garibaldi, allo stato attuale in fase di studio. Il PRG è in corso di definizione secondo i seguenti principi:

1. Necessità di velocizzare gli itinerari di transito e possibilmente anche altri itinerari.
2. Necessità di potere attestare treni dalla linea "Cintura"/Malpensa al fascio tronco.
3. Necessità di ridurre drasticamente il numero di deviatori inglesi per ragioni manutentive.

I tratti di infrastruttura interessati dai tagli in radice ovest hanno caratteristiche per essere percorsi, in deviata, a una velocità di 60 km/h. Per analogia con le motivazioni esposte al paragrafo 5.2.10, si ottengono i valori di:

$m_t = 3$; $n_t = 3,5$.

5.2.12 Stazioni con attestamenti e diramazioni

L'intervento descritto di seguito trova applicazione nelle stazioni con alto traffico ove sono previsti, nel modello di esercizio, attestamenti e dove l'infrastruttura è caratterizzata da diramazioni. I casi critici di studio che vengono rilevati dall'analisi sono:

- Stazione di Milano Greco Pirelli (radice sud, linea "Cintura");
- Stazione di Sesto S. Giovanni (radice sud, linea "Chiasso");
- Stazione di Seregno (radice sud);

L'intervento prevede di portare i deviatoti percorsi dai flussi di traffico in attestamento o in istradamento verso linee diramate a una velocità di 60 km/h. Per analogia con le motivazioni esposte al paragrafo 5.2.10, si ottengono, per il calcolo dei pesi dei tagli di tutti i casi citati, i valori di:

$$m_t = 3 ; n_t = 3,5 .$$

5.3 Dati di input del modello

Con procedimento analogo a quello descritto nel paragrafo 3.2 si definiscono i valori di input del modello riportati in TAVOLA27, TAVOLA28, TAVOLA29, TAVOLA30, TAVOLA31, per lo scenario a regime.

5.4 Grado di utilizzazione

Con procedimento analogo a quello descritto nel paragrafo 3.3 si definiscono i valori del grado di utilizzazione riportati in TAVOLA30, TAVOLA34, per lo scenario a regime. In riferimento allo stesso procedimento vengono rappresentati graficamente i dati relativi al grado di utilizzazione in TAVOLA32, TAVOLA33, TAVOLA35, TAVOLA36.

5.5 Analisi del grado di utilizzazione riferito allo scenario attuale

Nel paragrafo di seguito si analizza e si commenta il grado di utilizzazione di linee e tagli calcolato secondo la procedura descritta, con particolare attenzione ai casi in cui sono previste proposte di potenziamento infrastrutturale.

5.5.1 Linee Milano Certosa – Rho (via "Varese", via "Novara", via AV)

Le linee Milano Certosa – Rho (via "Varese", via "Novara", via AV) sono caratterizzate da grado di utilizzazione compreso tra il 75% e il 95% per fasce orarie di punta

(compreso tra il 60% e il 75% per la linea “Novara”) e inferiore al 60% nelle fasce di morbida (superiore al 95% per la linea “Varese”).

Il grado di utilizzazione, con l’attuazione degli interventi proposti (si veda il paragrafo 5.2.9), rispetto allo scenario di regime (si veda il paragrafo 4.5.1), migliora leggermente. Per una buona fruibilità del modello di esercizio, regolarità della circolazione, e possibilità di incrementi futuri del servizio ferroviario, si rende perciò opportuna la considerazione di attuazione degli interventi proposti.

5.5.2 Linea P.M. Ghisolfi – Milano P. Garibaldi (via “Novara”)

La linea P.M. Ghisolfi – Milano P. Garibaldi via “Novara”, a seguito degli interventi proposti, è caratterizzata da grado di utilizzazione superiore al 95% per fasce orarie di punta e compreso tra 75% e 95% nelle fasce orarie di morbida.

Il grado di utilizzazione, con l’attuazione degli interventi proposti (si veda il paragrafo 5.2.9), rispetto allo scenario di regime (si veda il paragrafo 4.5.2), migliora leggermente, rimanendo tuttavia in una condizione di criticità. Per una buona fruibilità del modello di esercizio, regolarità della circolazione, e possibilità di incrementi futuri del servizio ferroviario, si rende perciò opportuna la considerazione di attuazione degli interventi proposti. Per ridurre ulteriormente il grado di utilizzazione della linea è opportuno considerare modifiche al modello di esercizio che prevedano una diversa assegnazione dei percorsi dei servizi ferroviari.

5.5.3 Linea Milano P. Garibaldi – Bivio Mirabello

La linea Milano P. Garibaldi – Bivio Mirabello, a seguito degli interventi proposti, è caratterizzata da grado di utilizzazione superiore al 95% per fasce orarie di punta e di morbida.

Il grado di utilizzazione, con l’attuazione degli interventi proposti (si veda il paragrafo 5.2.9), rispetto allo scenario di regime (si veda il paragrafo 4.5.3), migliora leggermente, rimanendo tuttavia in una condizione di criticità.

L’intervento che permetterebbe il decongestionamento del “passantino” sarebbe quello finalizzato al suo quadruplicamento, separando le linee per flussi di velocità (per esempio creando un corridoio AV indipendente dalla linea attuale). L’intervento troverebbe difficoltà tecniche di attuazione in quanto la radice est è coperta da edificazione, con alti

costi di costruzione.

Per ridurre il grado di utilizzazione della linea è opportuno considerare modifiche al modello di esercizio che prevedano una diversa assegnazione dei percorsi dei servizi ferroviari.

5.5.4 Linea Bivio Mirabello – Milano Greco Pirelli

La linea Bivio Mirabello – Milano Greco Pirelli, a seguito degli interventi proposti, è caratterizzata da grado di utilizzazione compreso tra il 75% e il 95% per fasce orarie di punta e di morbida.

Il grado di utilizzazione, con l’attuazione degli interventi proposti (si veda il paragrafo 5.2.9), rispetto allo scenario di regime (si veda il paragrafo 4.5.4), migliora notevolmente. Per una buona fruibilità del modello di esercizio, regolarità della circolazione, e possibilità di incrementi futuri del servizio ferroviario, si rende perciò opportuna la considerazione di attuazione degli interventi proposti.

5.5.5 Linea “Cintura”, tratta Milano Greco Pirelli – Milano Lambrate – Milano Rogoredo

La linea “Cintura”, per la tratta Milano Greco Pirelli – Milano Lambrate – Milano Rogoredo, a seguito degli interventi proposti, è caratterizzata da grado di utilizzazione inferiore al 95% per fasce orarie di punta e di morbida.

Il grado di utilizzazione, con l’attuazione degli interventi proposti (si veda il paragrafo 5.2.9), rispetto allo scenario di regime (si veda il paragrafo 4.5.6), migliora notevolmente. Per una buona fruibilità del modello di esercizio, regolarità della circolazione, e possibilità di incrementi futuri del servizio ferroviario, si rende perciò opportuna la considerazione di attuazione degli interventi proposti. La tratta che permane critica è percorsa da una buona componente di servizi merci. Sono pertanto opportune modifiche al modello di esercizio che privilegino l’effettuazione dei servizi merci transitanti sulla tratta nelle fasce di morbida, al fine di non inficiare la regolarità del forte traffico viaggiatori in fasce orarie di punta.

5.5.6 Linea Milano Rogoredo – Codogno – Piacenza

Il grado di utilizzazione sulla linea, con l'attuazione degli interventi proposti (si veda il paragrafo 5.2.2), rispetto allo scenario di regime (si veda il paragrafo 4.5.8), migliora notevolmente, in quanto in nessun caso si ha un grado di utilizzazione superiore al 95%. Per una buona fruibilità del modello di esercizio, regolarità della circolazione, e possibilità di incrementi futuri del servizio ferroviario, si rende perciò opportuna la considerazione di attuazione degli interventi proposti.

5.5.7 Linea Milano Rogoredo – Pavia

La linea Milano Rogoredo – Pavia, a seguito degli interventi proposti, è caratterizzata da grado di utilizzazione compreso tra il 60% e il 75% per fasce orarie di punta e di morbida.

Il grado di utilizzazione, con l'attuazione degli interventi proposti (si veda il paragrafo 5.2.3), rispetto allo scenario di regime (si veda il paragrafo 4.5.9), migliora notevolmente. Per una buona fruibilità del modello di esercizio, regolarità della circolazione, e possibilità di incrementi futuri del servizio ferroviario, si rende perciò opportuna la considerazione di attuazione degli interventi proposti.

5.5.8 Tratta Rho – Vittuone

La tratta Rho – Vittuone, a seguito degli interventi proposti, è caratterizzata da grado di utilizzazione compreso tra il 75% e il 95% per fasce orarie di punta.

Il grado di utilizzazione, con l'attuazione degli interventi proposti (si veda il paragrafo 5.2.4), rispetto allo scenario di regime (si veda il paragrafo 4.5.10), migliora notevolmente. Per una buona fruibilità del modello di esercizio, regolarità della circolazione, e possibilità di incrementi futuri del servizio ferroviario, si rende perciò opportuna la considerazione di attuazione degli interventi proposti.

5.5.9 Tratta Parabiago – Gallarate

La tratta Parabiago – Gallarate, a seguito degli interventi proposti, è caratterizzata da grado di utilizzazione sempre inferiore al 95%, per fasce orarie di punta e di morbida.

Il grado di utilizzazione, con l'attuazione degli interventi proposti (si veda il paragrafo 5.2.5), rispetto allo scenario di regime (si veda il paragrafo 4.5.12), migliora notevolmente. Per una buona fruibilità del modello di esercizio, regolarità della

circolazione, e possibilità di incrementi futuri del servizio ferroviario, si rende perciò opportuna la considerazione di attuazione degli interventi proposti.

5.5.10 Linea Gallarate – Laveno – Luino

Le linee Gallarate – Laveno e Laveno – Luino, a seguito degli interventi proposti, sono caratterizzate da grado di utilizzazione superiore al 95% per fasce orarie di punta e compreso tra 60% e 75% nelle fasce orarie di morbida.

Il grado di utilizzazione, con l'attuazione degli interventi proposti (si vedano i paragrafi 5.2.6 e 5.2.7), rispetto allo scenario di regime (si veda il paragrafo 4.5.13), migliora notevolmente. Per una buona fruibilità del modello di esercizio, regolarità della circolazione, e possibilità di incrementi futuri del servizio ferroviario, si rende perciò opportuna la considerazione di attuazione degli interventi proposti.

Le criticità che permangono, seppur di minore entità, sono legate al forte carico di traffico, per buona componente merci, di cui la linea è caratterizzata. Per risolverle è ipotizzabile un diverso istradamento di parte dei servizi merci diretti verso la Svizzera, considerando le direttrici Milano – Domodossola e Milano – Chiasso, caratterizzate entrambe da doppio binario e inferiore grado di utilizzazione.

5.5.11 Linea Monza – Carnate – Lecco

La tratta Monza – Carnate, a seguito degli interventi proposti, è caratterizzata da grado di utilizzazione compreso tra il 60% e il 75% per fasce orarie di punta e di morbida.

Il grado di utilizzazione, con l'attuazione degli interventi proposti (si veda il paragrafo 5.2.1), rispetto allo scenario di regime (si veda il paragrafo 4.5.15), migliora notevolmente. Per una buona fruibilità del modello di esercizio, regolarità della circolazione, e possibilità di incrementi futuri del servizio ferroviario, si rende perciò opportuna la considerazione di attuazione degli interventi proposti.

Per la tratta Carnate – Calolziocorte permane il grado di utilizzazione compreso tra 75% e 95%. Come specificato nel paragrafo 3.4.11 essa presenta un alto grado di utilizzazione a causa di vincoli infrastrutturali sulla possibilità di effettuazione di operazioni di precedenza, che incrementa il valore delle tracce di sfrido per l'eterotachia della tratta e, di conseguenza, aggrava il grado di utilizzazione. Sarebbe perciò consigliabile, come intervento infrastrutturale la conversione in stazione della fermata di Cernusco – Merate,

con un binario di attestamento. L'intervento porterebbe a una riduzione delle tracce di sfrido dovute al modello di esercizio (si vedano i paragrafi 2.5 e 3.4.11) in quanto permetterebbe l'attuazione di operazioni di precedenza in una stazione di metà tratta. L'intervento incrementerebbe la capacità della tratta, migliorando quindi il grado di utilizzazione e garantirebbe una maggior regolarità in caso di perturbazioni alla circolazione. Consentirebbe inoltre di attestare alcune corse dei servizi suburbani S8 a Cernusco anziché a Carnate. L'intervento, tuttavia, viene solo citato come ipotesi, ma non è stato implementato nel modello di calcolo.

5.5.12 Tagli di Milano Certosa

I nuovi tagli di Milano Certosa presentano un grado di utilizzazione superiore al 95% in fasce orarie di punta e compreso tra il 60% e il 75% in fasce orarie di morbida.

L'attuazione dell'intervento previsto per Milano Certosa (si veda il paragrafo 5.2.10) porta tuttavia a una riduzione dell'utilizzazione dei tagli in quanto, i tagli in radice est calcolati con lo scenario di regime (si veda il paragrafo 4.5.21), erano molto più gravosi. Permane tuttavia una criticità, dovuta all'alto carico di traffico che insiste sui punti dell'infrastruttura ove si generano i tagli. L'intervento proposto e descritto risulta quindi di primaria importanza per una buona fruibilità della circolazione nell'impianto di Milano Certosa, ma non risolutivo.

5.5.13 Tagli di Milano Porta Garibaldi

L'intervento in fase studio descritto al paragrafo 5.2.11 risulta efficace per la radice ovest, che tuttavia, già nello scenario di regime, non presenta un elevato grado di utilizzazione, mentre non risolve le problematiche in radice est. Per risolvere le problematiche in radice est si tratterebbe di attivare uno studio fattibilità di importanti interventi infrastrutturali.

5.5.14 Tagli di Milano Greco Pirelli

Il taglio di Milano Greco Pirelli in radice sud (linea "Cintura") presenta un grado di utilizzazione relativizzato a Bivio Mirabello (nello scenario attuale) superiore al 95% in fasce di punta.

Il grado di utilizzazione, con l'attuazione degli interventi proposti (si veda il paragrafo 5.2.12) , rispetto allo scenario di regime (si veda il paragrafo 4.5.21), migliora leggermente, rimanendo tuttavia in una condizione di criticità.

L'alto grado di utilizzazione è dovuto all'alto carico di flussi di traffico che percorrono l'interferenza in itinerario di corretto tracciato e in itinerario deviato (per gli attestamenti).

5.5.15 Tagli di Seregno

I tagli di Seregno in radice sud presentano un grado di utilizzazione compreso tra il 75% e il 95% in fasce di punta e in fasce di morbida.

Il grado di utilizzazione, con l'attuazione degli interventi proposti (si veda il paragrafo 5.2.12), rispetto allo scenario di regime (si vedano i paragrafi e 4.5.28), migliora notevolmente. Per una buona fruibilità del modello di esercizio, regolarità della circolazione, e possibilità di incrementi futuri del servizio ferroviario, si rende perciò opportuna la considerazione di attuazione degli interventi proposti.

5.6 Osservazioni sul grado di utilizzazione con le proposte di interventi infrastrutturali avanzate

L'attuazione di interventi infrastrutturali mirati a risolvere situazioni di criticità dovute al modello di esercizio previsto a regime porta a un miglioramento globale del grado di utilizzazione della rete. Le situazioni in cui permane la criticità devono essere considerate per prevedere lo studio di interventi infrastrutturali importanti (quadruplicamento, nuova linea, doppio scavalco, etc.) o per una modifica al modello di esercizio sulla tratta.

Oggetto di studio da parte di RFI sono le nuove tecnologie HDTS³¹[10], per l'incremento della capacità nei nodi ferroviari urbani, e ERSAT³²[11], per l'incremento della capacità e la miglior gestione della circolazione su linee complementari a basso traffico. Entrambe si basano su distanziamento ottenuto attraverso tecnologie in via di sperimentazione (satellitare, blocco radio, etc.). Per tali tecnologie, tuttavia, essendo ancora in atto la fase sperimentale, non sono definite specifiche tecniche d'orario e non vi sono riferimenti nel quadro normativo RFI. Ai fini dell'analisi di cui l'elaborato si propone non si possono quindi prevedere interventi infrastrutturali che siano caratterizzati da tali tecnologie.

Nella scelta degli interventi infrastrutturali si deve tenere conto delle esigenze dettate dal modello di esercizio e, allo stesso tempo, il modello di esercizio deve tenere conto dei vincoli infrastrutturali della rete per garantire un grado di utilizzazione accettabile.

³¹ HDTS: High Density Traffic System; è un sistema per l'incremento della capacità nei nodi ferroviari.

³² ERSAT: ERTms SATellitare; è un sistema di sperimentazione ERTMS basato su tecnologia satellitare.

Capitolo 6: Conclusioni

L'elaborato si è proposto di analizzare il grado di utilizzazione del nodo di Milano allargato secondo lo scenario infrastrutturale e di modello di esercizio attuale e secondo lo scenario di regime. Si sono avanzate successivamente proposte di interventi infrastrutturali volti a risolvere le situazioni di criticità che permangono.

Si procede inizialmente con l'introduzione di alcuni concetti teorici, definendo la terminologia inerente la capacità ferroviaria, descrivendo il metodo di calcolo della capacità per le linee presentato dalla normativa, riportando elementi descrittivi relativi alle specifiche dello Scenario Tecnico e definendo i concetti relativi al modello di esercizio a orario cadenzato, tipico del nodo di Milano.

Vengono inoltre sviluppati algoritmi innovativi per integrare nel calcolo di capacità la disponibilità di impianti con binari di precedenza e di linee dotate di PBI.

Si descrive quindi il funzionamento del modello di calcolo, descrivendo le caratteristiche dei dati d'ingresso per il modello di calcolo, secondo le tre tipologie: dati infrastrutturali, dati sui carichi di traffico, dati relativi al modello di esercizio. Si descrivono successivamente le operazioni matematiche implementate dal modello di calcolo che determinano i dati in uscita, ovvero il grado di utilizzazione delle linee analizzate e il peso relativizzato dei tagli.

Il modello restituisce quindi il grado di utilizzazione delle linee e dei tagli sulla rete, ed esso viene presentato nell'elaborato attraverso i grafi contenuti nelle TAVOLE, che descrivono il grado di utilizzazione attraverso gradazioni cromatiche differenti per ciascun intervallo di valori. L'analisi viene condotta secondo due scenari infrastrutturali e di modello di esercizio: scenario attuale e scenario di regime. Dai risultati dell'analisi, in particolare dalle TAVOLE grafiche, si evidenziano i punti di criticità, per il grado di utilizzazione, nello scenario attuale e nello scenario di regime, deducendo pertanto il livello di efficacia degli interventi infrastrutturali previsti sulla rete.

Si avanzano quindi proposte di modifiche infrastrutturali e di modello di esercizio finalizzate a risolvere le situazioni in cui permangono criticità anche nello scenario di regime. Sulla base di tali modifiche viene nuovamente condotta l'analisi del grado di utilizzazione, riportando i risultati in TAVOLE grafiche.

L'elaborato, oltre ad aver presentato un modello di calcolo del grado di utilizzazione efficace, con particolare attenzione ai casi di linee eterotachiche e di linee a semplice

binario dotate di PBI, dimostra come il modello di esercizio sia importante per la definizione delle scelte infrastrutturali prioritarie da adottare sulla rete e, viceversa, come i vincoli infrastrutturali influenzino il modello di esercizio, affinché esso sia sostenibile e non generi situazioni di criticità per il grado di utilizzazione.

Appendice A Specifiche di distanziamento per linee con BAcc [6]

Tempi di specifica normali ed eccezionali in precedenza al treno di categoria indicata per linee con Blocco Automatico a Correnti Codificate, segnalamento concatenato e grado di frenatura fino al IV																															
Per ogni velocità di linea e categoria di treno, la riga superiore indica le specifiche normali e quella inferiore le specifiche eccezionali per le lunghezze di sezione in corrispondenza. A seguito di treni merci con lunghezza maggiore o uguale a 500 m aggiungere 30" alla specifica.																															
Velocità di linea e velocità di impostazione del treno superiore a 110 km/h																															
Lunghezza di sezione [m]																															
	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000	2050	2100	2150	2200	2250			
Treni viaggiatori con velocità di impostazione superiore a 200 km/h [min]	4'		4½'		5'		3¼'	4'		4½'		5'		5½'		6'		6½'		7'		7½'		8'		8½'		9'			
	2½'				3'				2½'				3'				3½'				3¾'										
Treni viaggiatori con velocità di impostazione di 160 km/h [min]	3¼'	4'		4½'		5'		4'		4½'		5'		5½'		6'		6½'		7'		7½'		8'		8½'		9'			
	2½'				3'				2½'				3'				3½'				3¾'										
Treni viaggiatori con velocità di impostazione di 140 km/h [min]	4'		4½'		5'		5½'		4½'		5'		5½'		6'		6½'		7'		7½'		8'		8½'		9'				
	2½'				3'				3¾'	2¼'	3'				3½'				4'												
Treni merci con frenatura di tipo viaggiatori [min]	6½'		7'		7½'		8'		6¼'	7'		7½'		8'		8½'		9'		9½'		10'		10½'		11'					
	3½'				4'				4½'				4'				4½'				5'				5½'						
Treni merci con frenatura tipo merci [min]	7'		7½'		8'		8½'		9'		7½'		8'		8½'		9'		9½'		10'		10½'		11'						
	4'				4½'				5'				4'				4½'				5'				5½'				6'		
Per successioni di treni con fermata, aggiungere alla specifica 1'30" più il tempo di fermata previsto.																															
Velocità di linea o di impostazione del treno di 110 km/h																															
Lunghezza di sezione [m]																															
	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000	2050	2100	2150	2200	2250			
Treni viaggiatori di lunghezza 400 m [min]	3½'		4'		4½'		5'		5½'		6'		6½'		7'		7½'		8'		8½'		9'		9½'		10'				
	2'		2½'				3'				3½'				4'																
Treni viaggiatori di lunghezza 250 m [min]	3'		3½'		4'		4½'		5'		5½'		6'		6½'		7'		7½'		8'		8½'		9'						
	2'				2½'				3'				3½'				4'														
Treni merci con frenatura di tipo viaggiatori [min]	4'		4½'		5'		5½'		6'		6½'		7'		7½'		8'		8½'		9'		9½'		10'						
	2½'				3'				3½'				4'																		
Treni merci con frenatura tipo merci [min]	6¼'	7'		7½'		8'		8½'		9'		7'		7¼'	8'		8½'		9'		9½'		10'		10½'		11'				
	4'				4½'				5'				4'				4½'				5'				5½'				6'		
Per successioni di treni con fermata, aggiungere alla specifica il tempo di fermata previsto.																															
Velocità di linea o di impostazione del treno di 60 km/h																															
Lunghezza di sezione [m]																															
	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000	2050	2100	2150	2200	2250			
Treni viaggiatori di lunghezza 400 m [min]	5¼'	6'		6½'		7'		7½'		8'		8½'		9'		9½'		10'		10½'		11'									
	3½'				4'				4½'				5'				5½'				6'										
Treni viaggiatori di lunghezza 250 m [min]	5'		5½'		6'		6½'		7'		7½'		8'		8½'		9'		9½'		10'		10½'		11'						
	3'				3½'				4'				4½'				5'				5½'				6'						
Treni merci tutti [min]	6½'		7'		7½'		8'		8'		8½'		9'		9½'		10'		10½'		11'		11½'								
	3¼'	4'				4½'				5'				5½'				6'				6½'									
Per successioni di treni con fermata, aggiungere alla specifica il tempo di fermata previsto.																															

BIBLIOGRAFIA

- [1] Rete Ferroviaria Italiana, *Norma Interna – determinazione della capacità di infrastruttura ferroviaria: linee*, comunicazione operativa RFI n° 67 del 7 aprile 2004.
- [2] Union Internationale des Chemins de fer, *Fiche 405*, seconda edizione, gennaio 2012.
- [3] Antonio Piciocchi, *Osservazioni sui piani schematici delle stazioni*, Ingegneria Ferroviaria n°7-8-9, 1968, pagg. 555 – 691, CIFI, Roma 2013.
- [4] Francesca Ciuffini, *Effetto dei livelli di velocità e della successione di tracce eterotachiche nel consumo della capacità di linea*; Atti del Convegno: Sicurezza ed esercizio ferroviario: innovazione e nuove sfide nei sistemi ferroviari, 2° Convegno Nazionale, Roma 2011.
- [5] Francesca Ciuffini, *Sistemi di offerta a orario cadenzato*, La Tecnica Professionale n°2/febbraio 2003, pagg. 47 – 60, CIFI, Roma 2003.
- [6] Emmanuele Vaghi, *Le specifiche di distanziamento: il legame tra tecnologia e orario*, Ingegneria Ferroviaria n°9/settembre 2013, pagg. 777 – 798, CIFI, Roma 2013.
- [7] Union Internationale des Chemins de fer, *Fiche 406*, seconda edizione, gennaio 2012.
- [8] Rete Ferroviaria Italiana, *Prospetto Informativo della rete*, Dicembre 2011, par. 1.10.
- [9] Francesca Ciuffini, *MODULO A, La progettazione funzionale di linee e impianti ferroviari, “Ingegneria di committenza”*, dispense del corso *Sviluppo competenze progettisti linee e impianti ferroviari*, Università “La Sapienza”, Roma, Maggio 2012.
- [10] Umberto Lebruto, Enzo Marzilli, *Sistema HDTs per l’incremento della capacità nei nodi ferroviari*, conferenza CIFI, Milano, 10/12/2013;
- [11] Fabio Senesi, Massimiliano Ciaffi, Daniele Caronti, *ERTMS via satellite. La linea pilota italiana*, La Tecnica Professionale n°1/gennaio 2014, pagg. 6 – 14, CIFI, Roma 2003.
- [12] Lucio Mayer, *Impianti ferroviari*, Nuova edizione a cura di P.L. Guida e E. Milizia, CIFI, Atena, Roma, 2002.