

Allegato 5

Verifiche di capacità condotte sulla rete

Verifiche di capacità rispetto al modello di esercizio obiettivo all'orizzonte 2030

1. Scopo dell'allegato

Il presente allegato riporta maggiore dettaglio sulle analisi di cui ai punti 4.2 e 4.3 del documento. Esso deve essere inteso quale esposizione di approfondimento della trattazione al capitolo 4, la cui lettura preliminare è necessaria per l'allineamento sui termini nel seguito utilizzati, per la presentazione degli aspetti metodologici e per le considerazioni dedotte dai risultati.

2. Tratta di linea Bussoleno-Torino

2.1 SCOPO DELL'ANALISI

Scopo dell'analisi è verificare la necessità e la sufficienza dei potenziamenti previsti per la linea Bussoleno-Torino all'orizzonte di apertura del Tunnel di Base del Frejus, in relazione al traffico atteso. In particolare, sono previsti la costruzione di una linea in variante tra Avigliana e Torino, in parallelo alla conservazione della linea storica, ed il mantenimento dell'infrastruttura attuale tra Bussoleno ed Avigliana.

2.2 DATI DI ENTRATA PER L'ANALISI

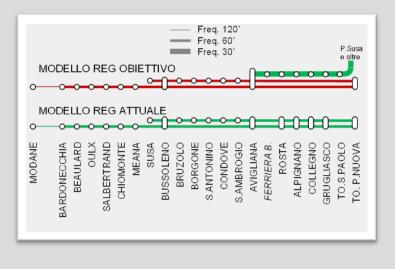
L'analisi è svolta in riferimento ad un giorno di circolazione feriale tipo, assumendo il modello di offerta obiettivo riportato nello specchietto della pagina successiva.

Per determinare l'arco di servizio della linea è stato esaminato il quadro delle esigenze manutentive presumibili. Il quadro normativo attualmente in vigore è determinato da un recente accrescimento delle tutele per la sicurezza degli operatori coinvolti, che ha ristretto sensibilmente le possibilità di effettuare lavori manutentivi su un binario mentre la circolazione continua sull'altro; pertanto pressoché la totalità delle lavorazioni per la manutenzione deve essere effettuata con la sospensione totale della circolazione. Le operazioni manutentive tipiche in tali condizioni richiedono spazi di lavorazione di 4 ore, che oggi sono ricavati mediante la soppressione di treni programmati. L'incremento di traffico atteso ed il conseguente incremento delle esigenze manutentive fa ritenere necessaria la sistematizzazione di tali periodi di assenza di traffico; pertanto, la linea è stata considerata a disposizione della circolazione per 20 ore ogni 24. Di queste, 18 sono interessate da tutti i tipi di traffico, assumendo per analogia con i molti casi presenti sulla rete un arco di servizio dei treni regionali e metropolitani dalle ore 5.30 alle ore 23.30 circa, mentre 2 ore sono riservate ai treni merci e viaggiatori notturni.

Treni al giorno nel complesso delle due direzioni:

- Treni viaggiatori ad alta velocità: 18 tr/gg
- Treni viaggiatori notturni di Lunga Percorrenza: 4 tr/gg (nel seguito equiparati a merci)
- Treni merci: 162 tr/gg (senza distinzione tra le tipologie)
- Treni Regionali Torino Susa a frequenza 60' per ciascuna direzione: 36 tr/gg*
- Treni Regionali Torino Bardonecchia/Modane a frequenza 60' per ciascuna direzione (120' tra Modane e Bardonecchia): 36 tr/gg*
- Treni SFM Torino Avigliana a frequenza 30 ' per ciascuna direzione: 72 tr/gg*
- * Arco di servizio preso a riferimento per i treni Regionali ed SFM: 18 ore (5.30-23.30)

Lo schema sottostante riporta un confronto fra il modello di offerta regionale/metropolitano obiettivo e quello attuale:



Riportando a frequenze orarie i traffici quantificati come previsioni giornaliere, i 18 treni/gg totali di lunga percorrenza viaggiatori, 9 per direzione, equivalgono ad un treno ogni 2 ore; i 162 treni merci, 81 per direzione, possono essere considerati 4 all'ora per direzione nelle 18 ore di pieno servizio regionale, per un totale di 72 treni, mentre i 9 rimanenti più i 2 viaggiatori notturni per direzione possono essere previsti nelle 2 ore di apertura della linea senza traffico regionale e metropolitano.

Come riferimento per analisi di controprova, la situazione del traffico attuale è condensata in queste frequenze massime per direzione: treni AV 1/h, treni SFM/Reg senza fermate tra Avigliana e Bussoleno 1/h, treni SFM/Reg con fermate tra Avigliana e Bussoleno 1/h, treni merci massimo 3/h.

L'attrezzaggio tecnologico attuale della tratta consente i seguenti distanziamenti di progetto tra i treni:

- Tratta Bussoleno-Avigliana: 6 minuti
- Tratta Avigliana-Collegno: 4 minuti
- Tratta Collegno-Torino S.Paolo: 5 minuti

Nel modello di offerta obiettivo è prevista la presenza della nuova fermata di Ferriera Buttigliera per i servizi metropolitani.

2.3 ANALISI IN FORMA CHIUSA

L'analisi in forma chiusa è un procedimento di facile e ripetibile applicazione, che presenta il vantaggio di potere essere realizzato speditamente e senza particolari strumenti di calcolo. Essa consente l'individuazione immediata del ruolo svolto da ciascuno dei parametri inseriti e restituisce una individuazione dell'ordine di impegno della linea, distinguendo le situazioni di chiara insufficienza o di ampi margini residui e indirizzando per approfondimenti più complessi quando i risultati ricadono in una fascia intermedia.

È derivata dai metodi di compattazione di cui alla Fiche 406 dell'Unione Internazionale delle Ferrovie ed è usata nelle valutazioni sull'adeguatezza dei sistemi tecnologici di distanziamento, sulla possibilità di inserimento di nuove fermate, sulla sostenibilità della velocizzazione di una parte dei treni, sulla necessità di binari di precedenza o nuove linee. Sostanzialmente, quantifica il fatto che la compresenza di treni a velocità diversa sugli stessi binari comporta una riduzione della capacità rispetto alla condizione in cui i treni mantengono tutti la stessa velocità, e la perdita di capacità è proporzionale alla differenza tra le velocità. L'analisi non tiene conto della effettiva disposizione in successione dei treni, ma solo del numero di essi e dei tempi di percorrenza programmati di ciascuno, in connessione con le prestazioni di progetto del sistema di segnalamento.

Il metodo di calcolo è riportato nello specchietto sottostante, tutti i calcoli sono relativi ad una direzione. Risultati superiori al 100% indicano situazioni marcatamente insostenibili, mentre risultati inferiori all'83% indicano convenzionalmente situazioni con ampi margini di capacità.

METODO DI CALCOLO:

- 1. Identificare la tratta di riferimento (massima estesa dove non cambia la successione dei treni: se c'è un binario di precedenza di cui si prevede l'utilizzo d'orario, esso delimita la tratta; idem per bivi)
- 2. Identificare la fascia di riferimento (normalmente la base del cadenzamento, scegliendo il modulo con i rinforzi)
- 3. Calcolare la percorrenza di riferimento
 - a. Reperire la percorrenza effettiva dei vari servizi, comprese soste, allungamenti, deviate ecc.
 - b. Raggruppare i servizi per percorrenza di tratta e contare quanti ne sono previsti nella fascia di riferimento
 - c. Costruire una tabella con le classi di percorrenza nelle righe, i «candidati» a percorrenza di riferimento in colonne e nelle caselle le differenze (in valore assoluto) tra classe e candidato. Moltiplicare le caselle per i volumi rispettivi e sommare per colonne.
 - d. Il candidato che minimizza la somma è la percorrenza di riferimento
- 4. Calcolare la perdita di capacità per eterotachia (è la somma di cui al punto d)
- 5. Calcolare l'utilizzazione totale

volume totale * specifica di distanziamento + perditempo per eterotachia ampiezza fascia di riferimento

Si riportano ora dati e calcoli relativi alla tratta Bussoleno-Avigliana:

Dati:

Tempi di percorrenza di tratta:

AV: 11⁶

• SFM/REG senza fermate intermedie: 14'

• SFM/REG con fermate intermedie: 26'

Merci: 16'

Volumi attuali e attesi

AV: max 1/h

• SFM/Reg senza fermate intermedie: 1/h

• SFM/Reg con fermate intermedie: 1/h

• Merci attuali: max 3/h

• Merci futuri: 4/h

→ Totale treni situazione attuale: 6/h

→ Totale treni situazione attesa: 7/h

Analisi situazione attuale:

Riferi- mento	13,	, 1	15,	16'	17,	18,	19,	13,	.41	15,	16'	17,	18,	19,
Delta rispetto a riferimento								Moltiplicato n. treni						
Perc. 11'	2	3	4	5	6	7	8	2	3	4	5	6	7	8
Perc. 14'	1	0	1	2	3	4	5	1	0	1	2	3	4	5
Perc. 16'	3	2	1	0	1	2	3	9	6	3	0	3	6	9
Perc. 26"	13	12	11	10	9	8	7	13	12	11	10	9	8	7
Delta totale								25	21	19	17	21	25	29

Specifica di distanziamento 6': (6 * 6' + 17') / 60' = 53'/60' = 88%

Analisi situazione attesa:

Riferi- mento	13,	14,	15'	16'	17,	18,	19,	13,	14'	15'	16'	17.	18,	19'
Delta rispetto a riferimento								Moltiplicato n. treni						
Perc. 11'	2	3	4	5	6	7	8	2	3	4	5	6	7	8
Perc. 14'	1	0	1	2	3	4	5	1	0	1	2	3	4	5
Perc. 16'	3	2	1	0	1	2	3	12	8	4	0	4	8	12
Perc. 26"	13	12	11	10	9	8	7	13	12	11	10	9	8	7
Delta totale								28	23	20	17	22	27	32

Specifica di distanziamento 6': (7 * 6' + 17') / 60' = 59'/60' = 98%Specifica di distanziamento 5': (7 * 5' + 17') / 60' = 52'/60' = 87%Specifica di distanziamento 4': (7 * 4' + 17') / 60' = 45'/60' = 75%

Come si vede dai risultati, nella situazione attuale la linea è intensamente utilizzata ma con margini gestionali ancora disponibili. Con l'incremento di traffico atteso, l'attrezzaggio tecnologico attuale porterebbe la situazione a prossimità di saturazione, creando una situazione con margini gestionali decisamente ridotti.

È opportuno quindi rinnovare il sistema di distanziamento, per conseguire un distanziamento di 4' che darebbe a disposizioni ampi margini gestionali. Qualora le condizioni planimetriche rendessero difficile l'estensione di un profilo di segnalamento da 4' di distanziamento, per sua natura profondamente vincolato, un profilo da 5' sarebbe comunque sufficiente per gestire la linea con margini operativi sufficienti e paragonabili alla situazione attuale.

In ogni caso, nelle ore in cui non sono previsti servizi AV, a parità di impego di capacità, la traccia è a disposizione per servizi altri altrettanto veloci, ad esempio a servizio dell'Alta Valle, oppure, con consumo di capacità ancora minore, per servizi più lenti con percorrenza più prossima al riferimento.

Si esamina a questo punto la tratta Avigliana-Bivio Pronda. Bivio Pronda è la località di servizio, in entrata al nodo di Torino dalla linea della Val Susa, che ha funzione di bivio per le direzioni del nodo di Torino (località successiva Torino S.Paolo) oppure per la stazione merci di Torino Orbassano.

Si applica anzitutto la stessa metodologia di analisi applicata alla tratta più a monte.

Dati:

Tempi di percorrenza di tratta:

- AV: 12'
- REG senza 5 fermate intermedie: 16'
- SFM con 5 fermate intermedie: 24' (*)
- Merci: 18'

(*) Compresa Ferriera Buttigliera; percorrenza attuale: 22'

Volumi attuali

- AV: max 1/h
- SFM/Reg: 2/h
- Merci: max 3/h
 - → Totale treni situazione attuale: 6/h

Volumi attesi

- AV: max 1/h
- Reg: 2/h
- SFM: 2/h
- Merci: 4/h
 - → Totale treni situazione attesa: 9/h

Analisi situazione attuale:

Riferi- mento	16'	17,	18,	19,	20,	21,	22,	16'	17;	18'	19,	20,	21,	22,
Delta rispetto a riferimento								Moltiplicato n. treni						
Perc. 12'	4	5	6	7	8	9	10	4	5	6	7	8	9	10
Perc. 22'	6	5	4	3	2	1	0	12	10	8	6	4	2	0
Perc. 18'	2	1	0	1	2	3	4	6	3	0	3	6	9	12
Delta totale							22	18	14	16	18	20	22	

Specifica 5': (6 * 5' + 14') / 60' = 44'/60' = 73% (*)

(*) L'analisi a 5' tiene conto della specifica di distanziamento ad oggi più gravosa, corrispondente alla tratta Collegno-B. Pronda.

Analisi situazione attesa:

Riferi- mento	16,	17.	18,	19,	20,	21,	22,	16'	17,	18,	19,	20,	21,	22,
Delta rispetto a riferimento								Moltiplicato n. treni						
Perc. 12'	4	5	6	7	8	9	10	4	5	6	7	8	9	10
Perc. 16'	0	1	2	3	4	5	6	0	2	4	6	8	10	12
Perc. 24'	8	7	6	5	4	3	2	16	14	12	10	8	6	4
Perc. 18'	2	1	0	1	2	3	4	8	4	0	4	8	12	16
Delta totale							28	25	22	27	32	37	42	

Specifica 5': (9 * 5' + 22') / 60' = 67'/60' = **112%** Specifica 4': (9 * 4' + 22') / 60' = 58'/60' = **97%**

Con le condizioni di traffico e tecnologia attuali, la linea presenta ampi margini gestionali. Con l'incremento di traffico previsto, anche ipotizzando di adeguare le specifiche tecnologiche del tratto Collegno-B.Pronda alla tratta superiore per ottenere specifiche di 4', la linea sarebbe in condizioni di prossimità a saturazione anche senza considerare gli ulteriori vincoli presenti.

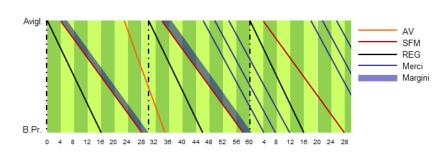
Si ritiene comunque doveroso proseguire l'analisi ipotizzando l'estensione del segnalamento per distanziamento di 4' all'intera tratta.

Un vincolo di importanza primaria è l'equidistanza tra i servizi della medesima categoria. Questo concetto traduce la necessità che, per migliorare il servizio minimizzando i tempi di attesa a parità di risorse investite nel servizio, la programmazione dell'orario dei treni omologhi li debba porre quanto più possibile intervallati tra loro. Si consideri ad esempio la programmazione di due treni metropolitani all'ora: essi possono essere posti al minimo di distanziamento (a 4') oppure intervallati al massimo tra loro (a 30'). A parità di risorse investite, nel primo caso si avrà assenza di servizio per ben 56', ed il secondo treno costituirà di fatto un doppione del primo; nel secondo caso l'attesa massima sarà di 30'. È evidente che, assumendo una distribuzione delle necessità di viaggio della clientela costante nell'ora di riferimento, il secondo caso costituisce un utilizzo delle risorse pubbliche molto più razionale del primo.

Pertanto i servizi metropolitani andranno programmati a 30' tra loro. I servizi Reg, lungo la linea, avranno fermata in località diverse: fermeranno entrambi solo a Bussoleno ed Avigliana; nella tratta tra le due località le percorrenze sono diverse, pertanto si avrà possibilità di porre il vincolo di equidistanza a 30' in una sola delle due località. Per favorire l'interscambio con la tratta metropolitana, si ritiene opportuno porlo ad Avigliana, impostando le tracce di modo che i viaggiatori provenienti

dalla valle e diretti alle località della tratta metropolitana possano interscambiare trovando il sevizio SFM subito dopo la discesa dal servizio Reg. Lo stesso succederà nel senso di ritorno, in quanto il servizio ferroviario piemontese è impostato secondo una tecnica denominata cadenzamento simmetrico, che garantisce che le corrispondenze che funzionano in un senso funzionino automaticamente per il relativo viaggio di ritorno.

Altro vincolo di orario da considerare è relativo all'AV: la programmazione più efficiente per l'utilizzo della capacità prevede che i treni a velocità simile siano programmati in stretta successione, ponendo prima i treni più veloci e poi quelli con fermate. Pertanto, considerando il senso verso Torino, nella tratta di Bassa Valle l'AV dovrà viaggiare subito davanti al Reg che viene da Bardonecchia/Modane, che non effettua fermate tra Bussoleno e Avigliana. La differenza di percorrenza in Bassa Valle tra i due servizi è 3'; così, ipotizzando in tale tratta una tecnologia di distanziamento da 4', i treni non



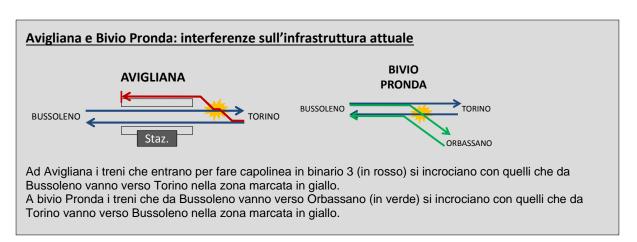
potranno programmarsi ad Avigliana a meno di 7' tra Ioro.

La struttura d'orario risultante è quella riportata nella figura a lato, che riproduce un diagramma spazio-tempo dove i tratteggi verticali delimitano spazi di

mezz'ora e le bande a diversa tonalità di verde l'intervallo di 4' corrispondente al distanziamento minimo. La eterotachia dei servizi AV, cioè la differenza di percorrenza rispetto agli altri servizi, non lascia spazi sufficienti alla impostazione di servizi merci nella mezz'ora in cui sono impostati gli AV, per cui nell'ora in cui tali AV sono presenti, solo 3 servizi merci sono possibili; la quarta traccia può essere recuperata nelle ore senza servizi AV, nelle quali sono disponibili gli spazi richiesti per la programmazione di 5 tracce. Con tale redistribuzione, è assolutamente escluso di avere a disposizione altre tracce veloci, ad esempio per l'impostazione di servizi per l'Alta Valle.

A questo punto è necessario ricomporre il reticolo orario nelle due direzioni, per verificare i punti di interferenza di bivio Pronda e Avigliana. In particolare, la conformazione di Avigliana attuale comporta che i treni SFM che vengono da Torino e si attestano attraversino il binario che dalla Val di Susa conduce a Torino e facciano capolinea in terzo binario. Pertanto, nel calcolare la capacità del binario che da Avigliana va verso Torino, la stessa andrà ridotta per riservarne una parte ai treni che da Torino vanno al binario di capolinea ad Avigliana.

Similmente, a bivio Pronda la capacità del binario che da Torino va verso la Val di Susa dovrà essere ridotta di quella impiegata dai treni merci che vengono dalla Val di Susa e si dirigono verso la stazione merci di Torino Orbassano.



La tecnica sopra citata dell'orario cadenzato simmetrico richiede legami stretti e specifici tra gli orari dei treni in una direzione e l'orario dei treni nell'altra direzione. Il grafico spazio-tempo che rappresenta la struttura di orario risultante è quello rappresentato sotto, che evidenzia gli elementi



per alcune considerazioni. Anzitutto, ad Avigliana è prevista sistematicamente la partenza dei treni SFM per Torino 8' dopo il loro arrivo da Torino. 8' è un tempo estremamente breve per i servizi ferroviari, che può essere programmato in singole situazioni per le quali

non esiste alternativa, ma che non è sostenibile sistematicamente ogni mezz'ora per tutto l'arco di servizio, perché è troppo alta la probabilità che un ritardo anche contenuto di un treno in arrivo sia propagato al treno in partenza. Pertanto è necessario attrezzare la stazione con due binari di attestamento, di modo che un treno possa ripartire 38' dopo il proprio arrivo e nel frattempo sia un treno già presente in stazione a fare la corsa a 8' dall'arrivo del primo.

Secondo rilievo, le situazioni evidenziate con le ellissi rosse si riferiscono a sequenze continue di treni senza margini tra loro. Per la specifica da utilizzare per i treni che si seguono a distanziamento si è già detto. Per le interferenze, le specifiche minime da assumere sono 3' da porre tra un treno in una direzione e un treno nell'altra. Ad Avigliana, nella mezz'ora in cui è presente le batteria di tre treni merci per Orbassano, si crea una sequenza distanziamento-distanziamento-taglio-distanziamento tra il minuto '46 e il minuto 60, richiedendo 15' in uno spazio di 14'; potrebbe essere gestita inserendo in orario modifiche di rallentamento dei treni merci, ricavabili senza peggioramento complessivo della percorrenza, redistribuendo l'allungamento necessario per mantenere la batteria a seguito del regionale tra Bussoleno e Avigliana. Tale allungamento non risolve però l'altra situazione di taglio critica, dove i merci che a Bivio Pronda effettuano una deviazione su Orbassano si trovano in una sequenza taglio-distanziamento-distanziamento-taglio tra il minuto 02 e il minuto 14 che richiederebbe 14 minuti nello spazio di 12.

Tali infittimenti sono impossibili anche nella programmazione teorica, e, ad infrastruttura invariata, è disponibile solo la programmazione d'orario per tentare di risolverle. Le sequenze indicate dovrebbero essere alleggerite riducendo da tre a due i merci in batteria; considerato che non sono programmabili merci nelle mezz'ore in cui ci sono AV, si avrebbero durante il giorno 9 ore con 2 merci e 9 ore con 4 merci, per un totale di 54 tracce merci per direzione nelle ore in cui è attivo il servizio regionale e metropolitano. Nelle due ore prive di tale servizio dovrebbero transitare le 27 tracce merci residue più i 2 treni viaggiatori notturni. 29 treni in due ore, con distanziamento a 4', corrispondono ad una utilizzazione del 97% anche in periodo notturno, con margini di stabilità troppo ridotti nonsostante il pesantissimo vincolo posto alla circolazione merci.

Altre soluzioni potrebbero venire dall'imposizione di specifici detrimenti alle caratteristiche commerciali dei treni, obbligando a programmare in maniera rigidamente predeterminata e invariabile le alternanze tra i merci diretti a Torino Orbassano e quelli inoltrati direttamente nel Nodo, oppure imponendo riduzioni di velocità e altre rigidità ai treni viaggiatori, lesionando però l'attrattività commerciale dei treni e mettendo quindi a repentaglio l'obiettivo di diversione modale degli spostamenti, sia a livello internazionale, sia a livello del territorio specifico attraversato dalla linea ferroviaria. Impostazioni di orario così rigide appaiono peraltro difficilmente sostenibili nell'esercizio reale, in quanto esistono perturbazioni, dovute al fatto che la circolazione è un fenomeno fisico complesso, in cui lo svolgimento in orario del servizio è condizionato da tanti vincoli

di natura tecnica e comportamentale estesi a tutti i molteplici attori coinvolti; la programmazione d'orario deve necessariamente lasciare dei margini, perché siano possibile degli spazi di manovra per recuperare nella gestione operativa le irregolarità inevitabili.

Pertanto, si ritiene la situazione di esercizio descritta decisamente instabile e si prosegue nelle analisi eliminando i vincoli di interferenza: ad Avigliana si suppone una revisione della stazione che porti i binari di attestamento all'interno tra i binari di corsa, di modo che i treni che fanno capolinea non si incrocino con altri movimenti; a bivio Pronda si suppone uno scavalco, che consenta ai treni che effettuano i movimenti interferenti di incrociarsi su livelli diversi e quindi potersi muovere in completa indipendenza.

Ci si riporta quindi al primo dei grafici sopra riportati, nel quale dei margini sono comunque individuati, per quanto molto ridotti. L'analisi in forma chiusa non permette di ottenere altre informazioni, si procede quindi con il metodo della simulazione con analisi numeriche.

2.4 ANALISI NUMERICHE DI SIMULAZIONE

Il metodo di simulazione con analisi numerica si basa su presupposti completamente diversi rispetto all'analisi in forma chiusa.

Mediante un opportuno software, nel caso specifico Opentrack®, si riproduce l'infrastruttura in esame, con il massimo dettaglio possibile per le caratteristiche topologiche significative della linea (progressiva chilometrica di scambi, segnali e dei relativi circuiti di binario, caratteristiche geometriche di velocità e pendenza della linea), le caratteristiche tecnologiche dei sistemi di segnalamento, con tutti i vincoli e le tempistiche rilevanti per il funzionamento, le caratteristiche dinamiche dei treni destinati a percorrerla e l'orario programmato per la linea, definito nel dettaglio dei minuti di passaggio ad ogni località. Indi si simula il sistema, facendo "viaggiare" i treni caratterizzati sulla linea modellizzata secondo l'orario programmato, e si vede se l'orario viene mantenuto. Indi si pone che i treni si presentino all'ingresso dell'area di simulazione non all'orario programmato, ma con un ritardo arbitrario, e si vede come si comporta il sistema: se lenisce o accentua i ritardi, e di quanto. Ripetendo le simulazioni con diverse perturbazioni di partenza si costruisce una statistica che permette di esprimere un giudizio sulla stabilità del sistema infrastruttura-veicoli-orario.

La descrizione nel dettaglio di tutti gli elementi costituisce insieme il punto di forza e di debolezza del metodo: di forza, perché permette di affinare la descrizione di tutto ciò che conta ai fini della circolazione, tenendo conto di tutte le particolarità della situazione reale della linea in esame ed evidenziando nei risultati la localizzazione specifica, nello spazio e nel tempo, dove si creano i problemi; di debolezza, perché in assenza degli elementi di dettaglio, gli stessi devono essere ipotizzati, inserendo elementi di arbitrarietà. In genere, è buona norma effettuare le verifiche di

dimensionamento mediante metodi in forma chiusa, che sono anche estremamente rapidi, e riservare le analisi di simulazione ad un secondo momento, quando infrastruttura, veicoli ed orario sono definiti nel dettaglio.

Lo scopo dell'analisi è rispondere alla domanda se la tratta di linea Avigliana-Bivio Pronda, opportunamente adeguata tecnologicamente e infrastrutturalmente, è in grado o meno di sostenere la circolazione obiettivo con un grado di stabilità sufficiente. Il layout

Layout di simulazione considerato:

Estremi della modellizzazione: stazione di Bussoleno, stazione di Torino S.Paolo (parzialmente), stazione di Torino Orbassano (parzialmente).

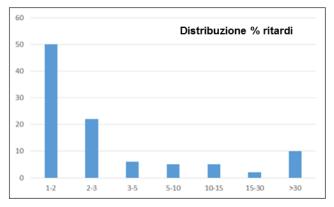
Sistemi di distanziamento previsti: Bussoleno-Avigliana da 5', Avigliana-Torino S.Paolo da 4'.

Stazione di Avigliana: revisione del piano del ferro con binari di attestamento al centro rispetto ai binari di corsa, itinerari di arrivo e partenza a 60 km/h

Bivio Pronda: soluzione in scavalco, con itinerari deviati da e per Torino Orbassano a 60 km/h

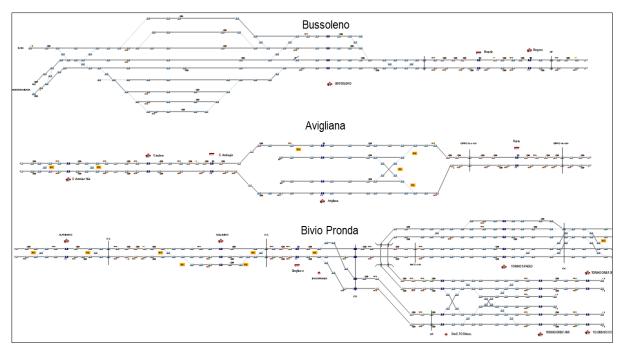
utilizzato per la simulazione è riportato nella figura seguente. I potenziamenti considerati sono riportati nello specchietto della pagina precedente.

Sono state simulate indipendentemente le ore in cui non è presente il servizio AV e le ore in cui lo stesso è presente. Per valutare la stabilità della circolazione, sia nell'orario con AV che senza, sono state effettuate 30 simulazioni in condizioni di circolazione

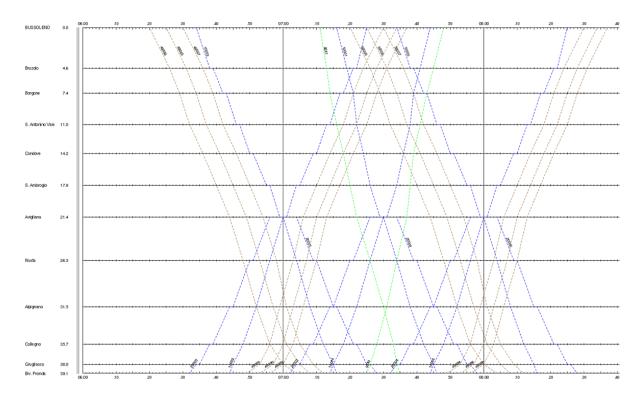


perturbata, assegnando ai treni, in modo casuale, ritardi nel punto di ingresso nella simulazione. La distribuzione di tali ritardi medi è stata desunta dai dati reali rilevati nelle località interessate nel mese di maggio 2017 ed è sintetizzata negli istogrammi sopra riportati.

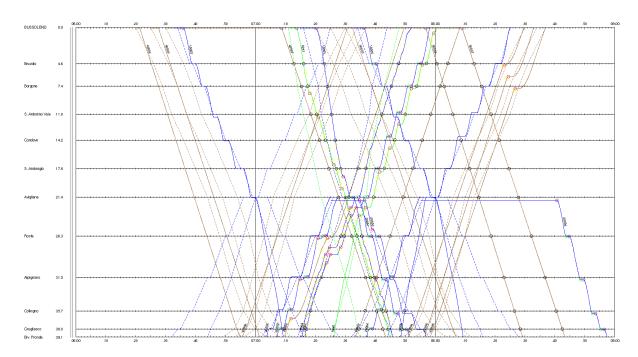
Nel seguito alcune rappresentazioni prodotte dal software di simulazione:



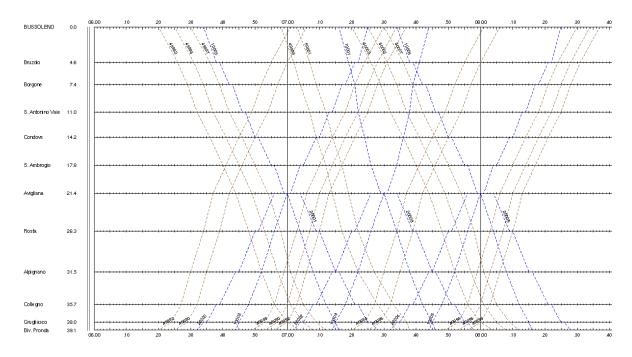
Layout di simulazione.



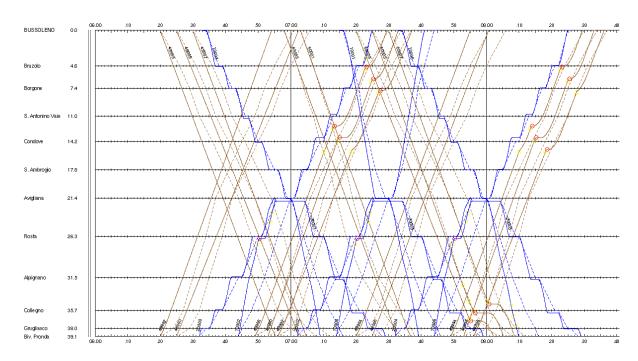
Progetto orario considerato: ora tipo con AV; in verde i treni AV, in blu i Regionali e gli SFM, in marrone i merci. La rappresentazione è un grafico orario: in ascissa il tempo, in ordinata le distanze. Più un treno è prossimo alla verticale più è veloce. I treni inclinati in un senso percorrono la linea in una direzione, quelli inclinati nell'altro senso la percorrono nell'altra direzione.



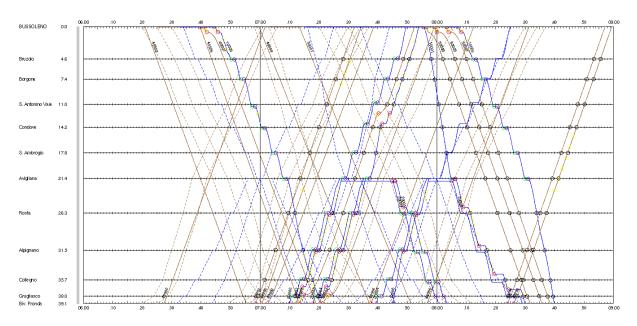
Ora tipo con AV: risultato della simulazione in una condizione di perturbazione iniziale. Le linee tratteggiate rappresentano l'orario programmato, le linee continue rappresentano la marcia dei treni come simulata. I cerchietti identificano le situazioni di difformità: cerchietto rosso indica fermata al segnale, cerchietto verde arrivo in ritardo, cerchietto viola partenza in ritardo, cerchietto nero transito in ritardo.



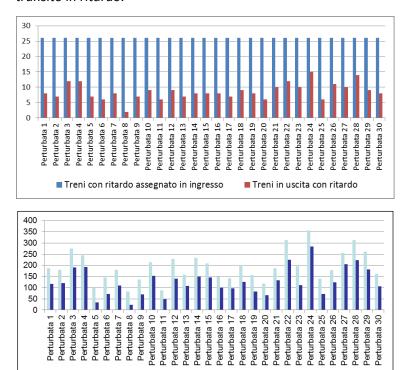
Progetto orario considerato: ora tipo senza AV; al posto di una traccia AV sono inserite due tracce merci.



Ora tipo senza AV: risultato della simulazione senza perturbazione iniziale. Le linee tratteggiate rappresentano l'orario programmato, le linee continue rappresentano la marcia dei treni come simulata. I cerchietti rossi indicano fermata al segnale.

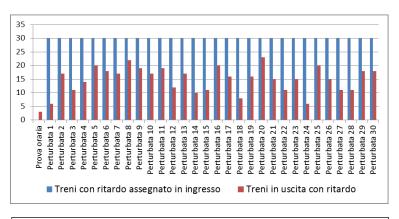


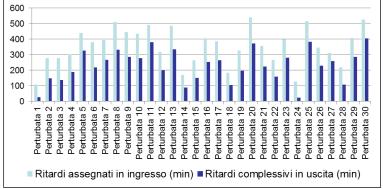
Ora tipo senza AV: risultato della simulazione in una condizione di perturbazione iniziale. Le linee tratteggiate rappresentano l'orario programmato, le linee continue rappresentano la marcia dei treni come simulata. I cerchietti identificano le situazioni di difformità: cerchietto rosso indica fermata al segnale, cerchietto verde arrivo in ritardo, cerchietto viola partenza in ritardo, cerchietto nero transito in ritardo.



■ Ritardi assegnati in ingresso (min) ■ Ritardi complessivi in uscita (min)

Statistiche di simulazioni per le ore con AV: il sistema è in grado di assorbire soltanto un terzo dei ritardi casuali di circolazione





Statistiche di simulazioni per le ore senza AV: il sistema è in grado di assorbire soltanto un terzo dei ritardi casuali di circolazione e la metà dei treni non recupera ritardi

Le simulazioni mostrano che il sistema infrastruttura-veicoli-orari è in grado di ridurre i ritardi che statisticamente si generano all'esterno dell'area di analisi; tuttavia ciò avviene per una quantità eccessivamente ridotta per l'ingresso in un nodo metropolitano: un orario ben progettato richiede che le percorrenze dei treni in arrivo ai nodi metropolitani siano dimensionate in modo che i treni si inseriscano quanto più in orario possibile nelle tratte urbane più utilizzate, ed i relativi orari comprendono degli allungamenti, cioè dei tempi di percorrenza supplementari, che hanno la funzione di margini per assorbire micro-ritardi nell'ordine di due-tre minuti. Le percorrenze poste alla base dell'analisi sono state desunte dall'orario attualmente in vigore, che quindi contiene già gli allungamenti citati; pertanto una percentuale molto elevata dei treni avrebbe dovuto riassorbire i ritardi sulla tratta: la distribuzione dei ritardi imposti, desumibile dagli istogrammi di pag. 9, mostra che una proporzione molto inferiore a un terzo dei ritardi imposti è superiore a 5', pertanto gli altri avrebbero dovuto essere per lo più riassorbiti. Inoltre il fatto che nell'ora senza AV circa metà dei treni non recuperi alcun ritardo è ancora più sintomatica. Si tenga presente che le tratte del nodo di Torino per le quali è prevista la più intensa utilizzazione vedono un treno ogni 4', ad esempio la linea tra Porta Susa e Rebaudengo Fossata. Un ritardo superiore a 2-3' provocherebbe conflitti di circolazione, che, se circoscritti, possono essere riassorbiti con una attenta gestione della circolazione; se generalizzati a molti treni renderebbero inevitabili provvedimenti frequenti di alleggerimento della circolazione, cioè la soppressione di corse.

2.5 RISULTATO DELLE ANALISI

Le analisi effettuate mostrano che il modello di esercizio atteso non è compatibile con l'infrastruttura attuale su nessuna tratta.

Il rinnovamento del sistema di segnalamento della tratta di Bassa Valle (Bussoleno-Avigliana), peraltro da prevedersi in ogni caso entro l'orizzonte 2030 in relazione all'obsolescenza degli impianti

attuali, è sufficiente all'espletamento del modello di esercizio, a condizione che le distanze tra i successivi segnali siano contenute entro valori specifici per consentire un distanziamento di progetto non superiore a 5'. Tale potenziamento consentirebbe anche l'impostazione di ulteriori servizi (ad esempio servizi veloci per l'Alta Valle).

Più complessa la situazione della tratta di adduzione metropolitana Avigliana-Torino. Sono stati considerati diversi livelli di potenziamento della linea storica, fino a ricomprendere interventi anche infrastrutturali di una certa entità. In particolare sono stati considerati il rifacimento della stazione di Avigliana per porre i binari di attestamento dei treni metropolitani in una posizione che minimizzi l'utilizzo di capacità, il rifacimento del sistema di segnalamento tra Collegno e Torino (che ad orizzonte 2030 non avrebbe presentato problemi di obsolescenza), è stata prevista la risoluzione a livelli sfalsati di bivio Pronda, cioè la costruzione di uno scavalco. Sono stati considerati anche vincoli sull'orario programmato per i treni merci, prevedendo che ne circolino meno nelle ore in cui circolano i treni AV, e si è rinunciato definitivamente all'impostazione di ulteriori servizi viaggiatori.

La simulazione numerica ha mostrato margini di stabilità troppo bassi in accesso ad un nodo metropolitano, per cui anche in presenza di ritardi di lieve entità sarebbe probabile una necessità frequente di soppressione di corse.

Pertanto si ritiene necessaria la disponibilità di una coppia di binari indipendente tra Avigliana e Torino, che la proposta progettuale ha individuato nella Variante della Collina Morenica. Con tale realizzazione, il traffico di lunga percorrenza e merci verrebbe impostato sul nuovo tracciato ed il traffico regionale e metropolitano avrebbe a disposizione una linea storica riservata a sé, con possibilità di implementazione di eventuali servizi aggiuntivi. Dovendo comunque intervenire sull'impianto di Avigliana per l'innesto della variante, è opportuno provvedere comunque a realizzare il posizionamento ottimale dei binari per l'attestamento dei metropolitani, al centro tra i binari di corsa, anche per facilitare l'interscambio tra i treni.

3. Nodo di Torino

3.1 SCOPO DELL'ANALISI

Come spiegato al paragrafo 4.3.1 del documento, scopo dell'analisi è determinare l'intrusività e quindi la sostenibilità dei traffici previsti all'apertura del Tunnel di Base del Frejus sui corridoi che essi andranno a percorrere nel nodo di Torino. La coesistenza con gli altri traffici richiede tuttavia che l'analisi sia estesa all'intero nodo e consideri tutti i servizi ferroviari su di esso presenti.

3.2 DATI DI ENTRATA PER L'ANALISI

L'analisi è svolta in riferimento ad un giorno di circolazione feriale tipo, assumendo l'attivazione dei potenziamenti infrastrutturali ed il modello di esercizio obiettivo riportato nelle tabelle che seguono. Per il modello di esercizio, si esprime anche la fonte utilizzata per la scelta della collocazione di orario.

NUOVA INFRASTRUTTURA MODELLIZZATA

Linea Diretta Porta Susa-Porta Nuova con innesto di prima fase a Porta Nuova

Innesto linea Torino-Ceres a Rebaudengo

Fermata Torino Dora

Fermata Zappata

Fermata Torino S.Paolo su SFM5

Fermata Borgata Quaglia su SFM5

Fermata S.Luigi Orbassano e linea di collegamento su SFM5

Variante Collina Morenica

Servizio	Freq.	Variazione rispetto all'orario 2016-2017	Note	Fonte per orario
SFM1 Rivarolo-Chieri	30′	Completamento frequenza		(1)
SFM2 Pinerolo-Chivasso	30′	Completamento frequenza		(1)
SFM3 Avigliana-Ceres	30′	Nuovo percorso		(2)
SFM4 Alba-Aeroporto	30′	Nuovo percorso	Frequenza da verificare tra Carmagnola ed Alba	(1)-(2)
SFM5 S.Luigi Orbassano- Chivasso	30'	Nuova istituzione		(2)
SFM6 Asti-Torino Stura	60′	-		(1)
SFM7 Fossano-Torino Stura	60'	-		(1)
Reg Torino P.NSusa	60′	Velocizzazione di SFM3 attuale		(2)
Reg Torino P.N Bardonecchia/Modane	60′	Velocizzazione e prolunga- mento di SFM3 attuale	120' tra Bardonecchia e Modane	(2)
RV Torino P.NMilano C.le	60′	-		(1)-(3)
RV Torino P.NMilano P.G.	60′	Sistematizzazione a formare un servizio a ca. 30' con i Milano C.le		(1)
RV Torino P.N-Ivrea- Aosta	60′	-		(3)
RV Torino P.NCuneo	60'	Raddoppio di frequenza		(2)
RV Torino P.NSavona	60′	Raddoppio di frequenza		(2)-(3)
RV Torino P.NGenova	60′	-		(1)-(3)
IC Torino P.NGenova	60′	Sistematizzazione		(2)
AV Torino P.NMilano- Roma/Venezia	Fino 4/h	-		(3)
AV Milano-Torino P.S Francia	120′	Diversione su linea AV tra Torino e Milano		(2)
Merci Orbassano- Chivasso e oltre	1/h*	-		(2)
Merci Orbassano- Trofarello e oltre	2/h*	-		(2)

- (2) Ipotesi autonoma
- (3) Orario in vigore 2016-2017
- * Valori coerenti con il dato di 84 treni merci/gg tra Orbassano e Trofarello e 40 treni/gg tra Orbassano e Chivasso

La collocazione d'orario dei servizi di nuova istituzione ha rappresentato un impegno particolarmente complesso, specialmente nelle parti più cariche del nodo e nelle linee di adduzione periferiche, per le quali si è di fatto dovuto procedere ad una progettazione oraristica completa, allo scopo di fare ipotesi che individuassero un modello di esercizio quanto più possibile realizzabile nella sua totalità.

L'innesto dei servizi SFM da Sud-Est e Sud-Ovest nella linea per Torino Dora – Rebaudengo a Torino Porta Susa ha scontato la difficoltà di gestire le interferenze di taglio tra i flussi in un corridoio con corse impostate fino a 4' tra loro; in alcuni casi è stato necessario procedere a scadenzamenti degli orari nell'ordine di uno o due minuti. Situazione simile, ma ancora più complessa, si è avuta per la gestione della situazione simmetrica a Rebaudengo.

Lato Milano, il prolungamento a Chivasso della SFM5 ha trovato collocazione ad immediato ridosso della SFM2; pur costituendo un assurdo dal punto di vista della programmazione dei servizi, non è stato possibile trovare collocazione alternativa mantenendo il cadenzamento a 30', soprattutto a motivo della sistematizzazione dei servizi veloci su Milano Porta Garibaldi. Per lo stesso motivo, non è stato possibile prolungare a Chivasso SFM6 ed SFM7, richiesta accennata nel documento "Progetto di Servizio Ferroviario" dell'Agenzia Mobilità Piemontese, e le due relazioni sono stata lasciate in attestamento a Torino Stura.

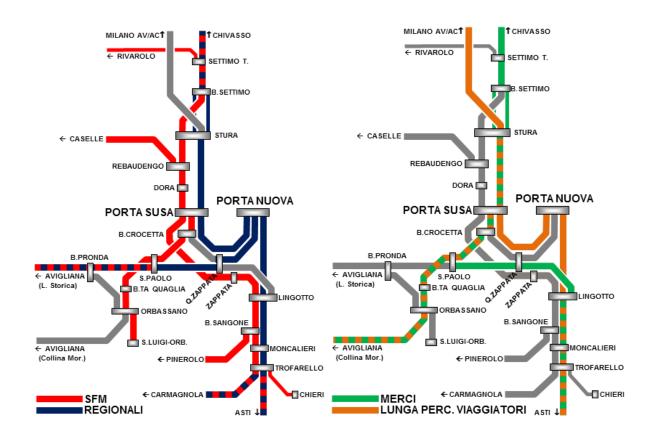
Lato Sud, particolare attenzione è stata posta alla linea per Fossano. Il rafforzamento di frequenza a 60' dei Regionali Veloci per Savona e Cuneo ha richiesto di individuare un nuovo posizionamento orario per i secondi, in quanto oggi la traccia fino a Fossano, ogni 60', è unica, e viene usata alternativamente per le due destinazioni. Si è trovato lo spazio anche per il rafforzamento di frequenza a 30' di SFM4 fino a Carmagnola, ma non si è proseguito oltre nell'approfondimento sul semplice binario verso Alba.

L'attribuzione dei percorsi dei vari servizi nel nodo è stata anch'essa oggetto di valutazioni ed ipotesi, per quanto la topologia realizzata o realizzanda conduca in sé all'individuazione di molte scelte logiche. Lato Sud, sulla tratta quadruplicata tra Lingotto e Trofarello, si è agito massimizzando la capacità del sistema, e quindi riservando alle stazioni estreme gli scambi di treni tra le linee, di modo che la capacità sia consumata su una sola di esse. Per minimizzare l'eterotachia si è scelto di instradare tutti i treni SFM, che hanno fermata a Moncalieri, sulla linea Savona, lasciando la linea Genova ai treni merci e ai treni viaggiatori per Torino Porta Nuova, che non fermano a Moncalieri.

Nel centro del nodo, tutti i treni di provenienza o destinazione Nord diretti a Torino Porta Nuova sono stati istradati sulla linea diretta Porta Susa-Porta Nuova. Ciò ha permesso di lasciare libera da treni programmati la tratta Bivio Crocetta-Quadrivio Zappata e quindi di disinnescare il punto di conflitto di Bivio Crocetta, che oggi costituisce una delle maggiori criticità del nodo. Tra Torino Porta Susa e Torino Stura si è scelto di istradare i merci sulla linea veloce, al fine di attraversare meno punti di interferenza e poiché l'inserimento di treni pesanti da 750 m nella corrente degli SFM, soggetti per programmazione ad una marcia con più accelerazioni e frenature, è parso inopportuno.

Lato Nord, si è scelto di istradare i treni merci lungo la linea storica, in allineamento alla tendenza ad oggi seguita dalle Imprese Ferroviarie del settore, di non attrezzarsi per percorrere le linee AV, mentre i treni AV per la Francia sono stati impostati sulla linea AV/AC, nella fiducia che una evidente anomalia della programmazione attuale, motivata dal mancato attrezzaggio ETCS del materiale rotabile oggi utilizzato, sia sanata all'orizzonte 2030.

Gli schemi della pagina successiva riportano i percorsi selezionati per le varie categorie di treni.



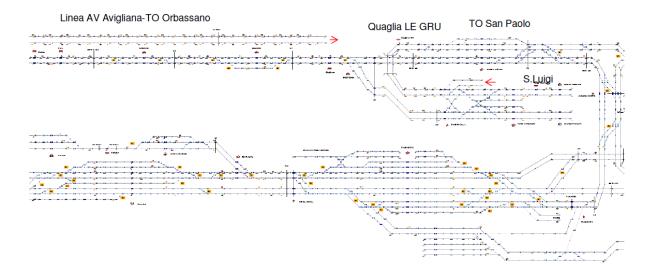
3.3 ANALISI NUMERICHE DI SIMULAZIONE

La complessità topologica del nodo ed il numero e la varietà dei servizi da considerare non permette l'effettuazione di analisi in forma chiusa. Peraltro, anche l'effettuazione di analisi numeriche di simulazione ha comportato difficoltà: il tempo computazionale per una sola di esse è risultato non inferiore ad un'intera notte, pertanto è stato necessario limitare il numero di simulazioni. In considerazione dello scopo dell'analisi, che non è evidenziare la sostenibilità o meno di un modello di esercizio rispetto ad un modello di infrastruttura, ma di segnalare criticità per un'eventuale successivo approfondimento, si è scelto di limitare la simulazione al caso non perturbato.

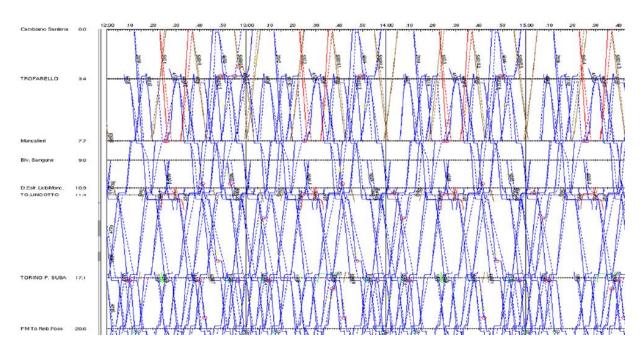
Il limite dell'area di modellizzazione è riportato nello specchietto a lato. Come si nota, su alcune direzioni si è dovuto contenere l'estesa osservata più di quanto fosse desiderato, vuoi per la non disponibilità di dati (lato Ceres), vuoi per la necessità comunque pressante di mantenere il problema computazionale a livelli gestibili (specie lato Milano, Fossano e Orbassano).

Nel seguito alcune rappresentazioni prodotte dal software di simulazione:

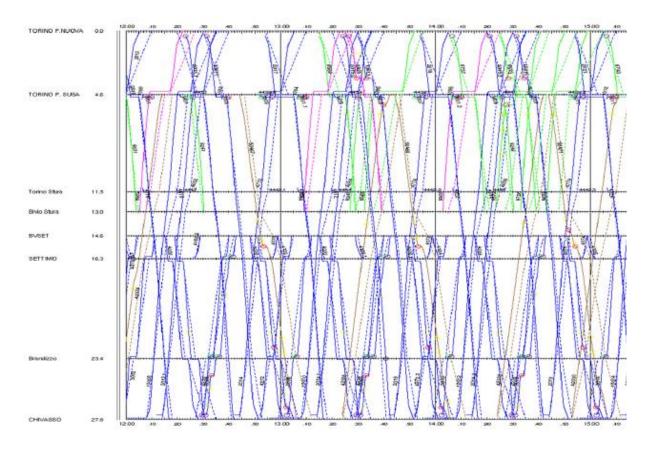
LIMITI DELL'AREA DI MODELLIZZAZIONE							
Direzione	Località						
Genova	Cambiano esclusa						
Savona	Carmagnola esclusa						
Pinerolo	Candiolo inclusa tutta						
Collina Morenica e SFM5	Torino Orbassano radice nord						
Modane linea storica	Avigliana incusa tutta						
Ceres	Rebaudengo inclusa tutta						
Milano AV	Tratta di linea oltre Torino Stura						
Milano storica	Chivasso esclusa						
Rivarolo	Settimo Torinese inclusa tutta						



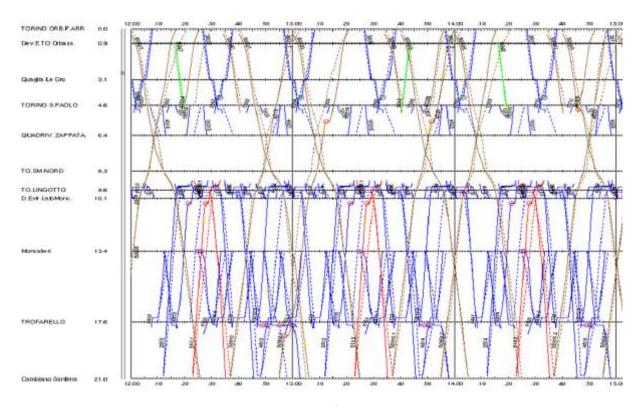
Vista parziale del layout di simulazione, da Alpignano e Orbassano a Candiolo e Moncalieri.



Risultato della simulazione, mostrato prendendo a riferimento il percorso di SFM6 tra Cambiano e Rebaudengo. In blu i treni regionali e metropolitani, in rosso i treni IC, in marrone i treni i merci, in verde e viola i treni AV (nelle pagine successive). Si noti che, nonostante non siano state imposte perturbazioni, esiste un notevole scostamento tra gli orari programmati (linee tratteggiate) e simulati (linee continue), esteso attraverso tutto il nodo.



Risultato della simulazione, mostrato prendendo a riferimento il percorso degli RV Torino Porta Nuova – Milano, tra Torino Porta Nuova e Chivasso



Risultato della simulazione, mostrato prendendo a riferimento il percorso di un treno merci tra Torino Orbassano e Cambiano

3.4 RISULTATO DELLE ANALISI

Le rappresentazioni sopra riportate mostrano la presenza di un'importante quantità di scostamenti tra tracce programmate e tracce simulate, generalizzata su tutto il nodo, che indica che delle instabilità che si generano in alcune parti del nodo propagano i propri effetti a tutta la circolazione.

Altre rappresentazioni indicano i punti dove si ha maggiore occupazione del nodo, segnalando le zone dove i treni si trovano più spesso: ciò può corrispondere ad una maggiore utilizzazione della



tratta oppure alla non programmata fermata dei treni nell'attesa che un segnale si disponga a via libera. Si riporta una rappresentazione integrata, che mostra tutto il nodo ed evidenzia le situazioni a maggiore impegno. Le tratte gialle indicano zone ad utilizzazione intensa, che richiedono attenzione nella gestione della circolazione. In considerazione dell'onerosità dell'infrastruttura sotterranea realizzata Torino, è segno di giusto dimensionamento che le tratte centrali del nodo siano utilizzate ad un intenso livello. Le tratte e le località in rosso costituiscono invece zone di vera e propria criticità, in grado di creare sistematicamente i ritardi emersi nelle rappresentazioni di simulazione. La situazione più critica in assoluto è l'innesto della linea Ceres a Rebaudengo, dove i treni da Ceres attraversano la corrente dei treni per Torino Stura.

Sovrapponendo la figura a sinistra a quella di pag. 17 di destra, che mostra i percorsi effettuati

dai traffici che percorrono il Tunnel di Base del Frejus, si nota che i traffici AV non attraversano nessuna zona rossa, mentre i merci ne attraversano due: la tratta Bivio Settimo-Settimo e la stazione di Trofarello. Peraltro, una rapida occhiata ai grafici di simulazione è sufficiente per avere la percezione che le tracce merci (marroni) in tale aree sono una minoranza netta rispetto alle tracce blu (regionali e metropolitane), per cui non pare totalmente scorretto ipotizzare che la criticità rimarrebbe tale anche in assenza dei merci e che essi siano sostanzialmente coinvolti in criticità generate da altri tipi di servizio.

L'analisi mostra però che il nodo di Torino presenta in prospettiva problemi reali di stabilità della circolazione, peraltro in località tutte toccate dai servizi regionali e metropolitani. La circolazione deve funzionare nel suo complesso, pertanto i problemi del nodo devono essere risolti tutti, a partire dai più gravi, trovando soluzioni di impostazione dei servizi o di variazione dell'infrastruttura, che come effetto indotto potrebbero alleggerire o appesantire le altre situazioni. Il modello di servizio metropolitano e regionale da prevedersi a regime può essere messo in discussione: nel tempo si è evoluto su strategie diverse da quelle simulate alla concezione del nodo; potrebbe non avere senso in tutti i casi mantenere le modalità di sviluppo a proprio tempo pensate come lungo termine; ad esempio, come sopra riportato, nel redigere l'orario da simulare, è risultato impossibile prolungare a Chivasso SFM6 ed SFM7, e si è dovuto collocare il prolungamento di SFM5 in modo che sia un inutile doppione di SFM2. È da valutare se confermare l'evoluzione avvenuta nel tempo oppure sia meglio ritornare al modello di offerta originario; solo a valle di questi approfondimenti la simulazione ha senso che sia ripetuta e che siano cercate soluzioni di tipo infrastrutturale, tenendo presente che l'azione sulla parte del nodo già interrata si scontra con difficoltà tecniche ed economiche evidenti.