



Facoltà di Ingegneria Civile, Ambientale e Territoriale

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

Orientamento Infrastrutture di trasporto

**EFFETTI DELLA MANUTENZIONE DEL
GESTORE DELL'INFRASTRUTTURA
FERROVIARIA SULLA CIRCOLAZIONE
DEI TRENI**

ELABORATO DI LAUREA MAGISTRALE DI:

Carlo Ferruccio BOTTURA Matr: 770318

RELATORE:

Prof. Ing. Roberto MAJA

CORRELATORE:

Ing. Gianluca TACCHI

Anno accademico 2012\2013

Ottobre 2013

Ringraziamenti

Questo elaborato rappresenta il termine del mio percorso d'istruzione presso il Politecnico di Milano ma anche il punto di partenza per nuove esperienze lavorative che caratterizzeranno il mio futuro.

I mesi che hanno accompagnato lo svolgimento e la stesura di questo lavoro sono stati speciali, vissuti un po' da studente veterano, un po' da stagista, in quel limbo particolare e difficilmente replicabile proprio della conclusione degli studi.

I miei primi ringraziamenti sono destinati all'Ing. *Gianluca Tacchi* che ha seguito da vicino tutte le fasi del lavoro, offrendomi la sua preziosa esperienza durante tutta la durata del tirocinio presso *FerrovieNord*.

Ringrazio anche il mio relatore prof. Ing. *Roberto Maja*, non solo per la fiducia ripostami durante lo svolgimento del lavoro ma anche per gli insegnamenti forniti durante gli anni di studio presso il Politecnico.

Un riconoscimento particolare all'ing. *Marco Crippa* e alla sig.ra *Stefania Bagatin* per il loro aiuto e le loro correzioni ma più in generale a tutte le persone che lavorano presso gli uffici di *FerrovieNord* di Saronno che hanno creato un ambiente piacevole e reso il mio stage un periodo di arricchimento personale.

Riconoscente verso le persone a me care che hanno sostenuto il mio percorso, rammento loro che l'incoraggiamento non deve venire meno nel futuro: gli esami non finiscono mai!

Indice generale

1. Introduzione	28
2. Stato dell'arte	30
3. Le Ferrovie Nord Milano	32
3.1. La storia di Ferrovie Nord Milano	32
3.2. La rete al giorno d'oggi	35
4. La Circolazione ferroviaria	38
4.1. La circolazione ferroviaria: generalità	38
4.2. Linee, Località di servizio e treni	39
4.2.1. Linee	39
4.2.2. Località di servizio	39
4.2.3. Treni	41
4.2.4. La linea Saronno – Malpensa Aeroporto	41
4.3. Regimi di circolazione dei treni	45
4.3.1. Il regime di circolazione presente sulla linea Saronno – Malpensa Aeroporto	45
4.4. Sistemi di esercizio	46
4.4.1. I sistemi di esercizio presenti sulla Saronno – Malpensa Aeroporto	46
4.5. Impianti di comunicazione terra-treno	47
4.5.1. Segnali luminosi	47
4.5.2. Segnalamento per cantieri	48
4.6. Impianti di ripetizione dei segnali a bordo	60
4.6.1. Gli impianti di ripetizione dei segnali presenti sulla Saronno – Malpensa Aeroporto	60
4.7. Apparati centrali	62
5. Simulazione della circolazione	64
5.1. Introduzione al software <i>OpenTrack</i>	64
5.2. Dati in ingresso	65

5.2.1.	L'infrastruttura	65
5.2.2.	Il Materiale rotabile.....	66
5.2.3.	L'Orario di servizio	68
5.3.	Simulazione e dati in uscita	69
5.3.1.	Disturbi della circolazione.....	70
5.3.2.	<i>Train Graf</i> (Diagramma grafico treno).....	70
5.4.	Altri dati in uscita	71
6.	La creazione di un modello di esercizio.....	75
6.1.	Simulazione della circolazione.....	75
6.2.	La creazione del modello.....	76
6.2.1.	La scelta dei dati	76
6.3.	Simulazioni a confronto	83
6.3.1.	Scenari di input	83
6.3.2.	Scenari di output.....	87
6.4.	Scenario di riferimento.....	90
7.	Interruzioni programmate	91
7.1.	La necessità di interruzioni programmate	91
7.2.	Utilizzo di <i>OpenTrack</i> per la simulazione delle interruzioni programmate	93
7.2.1.	Situazione generale senza alcuna interruzione programmata di binario	100
7.3.	Scenari di interruzione.....	105
7.3.1.	IPM 1: interruzione della circolazione sul binario dispari tra Saronno e Rescaldina	105
7.3.2.	IPM 2: Interruzione sul binario pari fra Rescaldina e Saronno	109
7.3.3.	IPM 3: interruzione della circolazione sul binario dispari fra Rescaldina e Castellanza	113
7.3.4.	IPM 4: interruzione della circolazione sul binario pari fra Castellanza e Rescaldina	118
7.3.5.	IPM 5: interruzione della circolazione sul binario dispari fra Castellanza e Busto Arsizio	122

7.3.6.	IPM 6: interruzione della circolazione sul binario pari fra Busto Arsizio e Castellanza	127
7.3.7.	IPM 7: interruzione della circolazione sul binario dispari fra Busto Arsizio e il bivio Sacconago.....	132
7.3.8.	IPM 8: interruzione della circolazione sul binario pari fra il bivio Sacconago e Busto Arsizio	136
7.3.9.	IPM 9: interruzione della circolazione sul binario dispari fra il bivio Sacconago e Ferno Lonate Pozzolo	140
7.3.10.	IPM 10: interruzione della circolazione sul binario pari fra Ferno Lonate Pozzolo e il bivio Sacconago	145
7.3.11.	IPM 11: interruzione della circolazione sul binario dispari fra Ferno Lonate Pozzolo e Malpensa Aeroporto	149
7.3.12.	IPM 12: interruzione della circolazione sul binario pari fra Malpensa Aeroporto e Ferno Lonate Pozzolo	154
7.4.	Riassunto degli scenari di interruzione	159
8.	Conclusioni	161
8.1.	Obiettivi raggiunti.....	161
8.2.	Sintesi finale, considerazioni aggiuntive e ipotesi ulteriori	163
9.	Bibliografia	167
10.	Webgrafia	168
11.	Allegati	169

Indice delle figure

Figura 3-1: La rete di Ferrovie Nord: linee attive e chiuse al traffico.	32
Figura 3-2: La rete di Ferrovie Nord Milano – ramo Milano.	35
Figura 3-3: La rete di Ferrovie Nord Milano – ramo Iseo– Edolo.	36
Figura 3-4: Schema rete ferroviaria nell'orario grafico di FNM – ramo Milano; orario grafico.	37
Figura 4-1: Schema della linea Milano - Saronno - Malpensa Aeroporto all'interno della rete di Ferrovie Nord.	41
Figura 4-2: Schema planimetrico dell' impianto di Saronno della <i>Prefazione all'orario di servizio</i> di Ferrovie Nord.	42
Figura 4-3: Schemi planimetrici degli impianti di Rescaldina, Castellanza, Busto Arsizio FN e del Bivio Sacconago, nella <i>Prefazione all'orario di servizio</i> di Ferrovie Nord.	43
Figura 4-4: Schemi planimetrici degli impianti di Ferno Lonate Pozzolo e Malpensa Aeroporto nella <i>Prefazione all'orario di servizio</i> di Ferrovie Nord.	43
Figura 4-5: Tabelle di orientamento di rallentamento notificato.	48
Figura 4-6: Segnale di avviso di rallentamento.	49
Figura 4-7: Segnali di avviso di rallentamento con freccia indicatrice del binario interessato.	49
Figura 4-8: Segnale di inizio rallentamento.	50
Figura 4-9: Segnale di fine rallentamento.	50
Figura 4-10: Disposizione del segnalamento in caso di un rallentamento interessante un solo binario.	51
Figura 4-11: Disposizione del segnalamento in caso di un rallentamento interessante ambedue i binari.	51
Figura 4-12: Disposizione della segnalamento in caso di un rallentamento interessante un solo binario nel caso di comunicazione ubicata tra il segnale di avviso e quello di inizio del rallentamento.	52
Figura 4-13: Disposizione della segnalamento in caso di un rallentamento interessante un solo binario nel caso di comunicazione ubicata tra il segnale di inizio e quello di fine del rallentamento.	53
Figura 4-14: In alto: disposizione della segnalamento in caso di un rallentamento interessante ambedue i binari nel caso di comunicazione ubicata tra il segnale di avviso e quello di inizio del rallentamento. In basso: disposizione della segnalamento in caso di rallentamento interessante ambedue i binari nel caso di comunicazione ubicata tra il segnale di inizio e quello di fine del rallentamento.	53
Figura 4-15: Disposizione della segnalamento in caso di un rallentamento interessante il binario di corretto tracciato nel caso di deviatoio di bivio ubicato tra il segnale di avviso e quello di inizio del rallentamento.	54
Figura 4-16: Disposizione della segnalamento in caso di un rallentamento interessante il binario deviato nel caso di deviatoio di bivio ubicato tra il segnale di avviso e quello di inizio del rallentamento.	54
Figura 4-17: Cartello indicante l'inizio del cantiere.	55

Figura 4-18: Cartello indicante la fine del cantiere.....	55
Figura 4-19: Cartello che segnala la presenza lungo la linea di una squadra di operai concentrata in un breve tratto di linea.	56
Figura 4-20: Disposizione dei cartelli di cantiere quando i lavori interessano un solo binario.....	57
Figura 4-21: Disposizione dei cartelli di cantiere quando i lavori interessano ambedue i binari.	57
Figura 4-22: Disposizione dei cartelli di cantiere quando i lavori si svolgono su un binario in prossimità di una comunicazione.	58
Figura 4-23: Disposizione dei cartelli di cantiere quando i lavori si svolgono su un binario in corrispondenza di una comunicazione.	58
Figura 4-24: Disposizione dei cartelli di cantiere quando i lavori si svolgono su ambo i binari in corrispondenza di una comunicazione.	59
Figura 4-25: Il sottosistema di terra del SCMT.....	61
Figura 4-26: Esempio di schermata del sottosistema di bordo del SCMT.....	61
Figura 4-27: Esempio di un impianto ACEI.	63
Figura 4-28: Particolare di un impianto ACEI: il quadro luminoso.	63
Figura 5-1: Rappresentazione schematica dei dati di input e output del programma <i>OpenTrack</i>	65
Figura 5-2: Esempio di stazione rappresentata in <i>OpenTrack</i>	66
Figura 5-3: Tendina di <i>OpenTrack</i> mostrante tutti i dati associati ad una determinata motrice.	67
Figura 5-4: Diagramma di trazione inerente ad una determinata motrice variante secondo il tipo di alimentazione.....	67
Figura 5-5: Esempio di tendina di orario di servizio per una determinata corsa.....	68
Figura 5-6: Un istante di una simulazione in corso.	71
Figura 5-7: Esempio di diagramma di occupazione dei binari di una stazione.....	72
Figura 5-8: Statistiche sull'occupazione dell'infrastruttura (nell'esempio la percentuale di occupazione in ora di punta).	73
Figura 5-9: Statistiche dei ritardi.....	73
Figura 5-10: Esempio di importazione dei dati di output (salvati come file di testo ASCII) in Microsoft Excel.	74
Figura 5-11: Esempio di analisi di dati di output di più simulazioni <i>OpenTrack</i>	74
Figura 6-1: Rappresentazione schematica della linea di studio (Saronno – Malpensa Aeroporto) e degli impianti di ingresso e uscita dalla stessa. In azzurro le corse Milano – Novara, in rosso le corse Milano Cadorna – Malpensa Aeroporto, in arancio le corse Milano Centrale – Malpensa Aeroporto, in marrone le corse Bellinzona – Malpensa Aeroporto.	77
Figura 7-1: Esempio di interruzione di linea del binario dispari e circolazione a senso alternato sul binario pari.	91
Figura 7-2: Estratto dell'Orario Grafico di <i>FerrovieNord</i> , linea Saronno – Malpensa Aeroporto tra le 11 e le 15.	95
Figura 7-3: Rappresentazione dell'interruzione della circolazione sul binario dispari tra Saronno e Rescaldina.	105

Figura 7-4: Rappresentazione dell'interruzione della circolazione sul binario pari tra Rescaldina e Saronno.	109
Figura 7-5: Rappresentazione dell'interruzione della circolazione sul binario dispari tra Rescaldina e Castellanza.	113
Figura 7-6: Rappresentazione dell'interruzione della circolazione sul binario pari tra Castellanza e Rescaldina.	118
Figura 7-7: Rappresentazione dell'interruzione della circolazione sul binario dispari tra Castellanza e Busto Arsizio.	122
Figura 7-8: Rappresentazione dell'interruzione della circolazione sul binario pari tra Busto Arsizio e Castellanza.	127
Figura 7-9: Rappresentazione dell'interruzione della circolazione sul binario dispari tra Busto Arsizio e il bivio Sacconago.	132
Figura 7-10: Rappresentazione dell'interruzione della circolazione sul binario pari tra il bivio Sacconago e Busto Arsizio.	136
Figura 7-11: Rappresentazione dell'interruzione della circolazione sul binario dispari tra il bivio Sacconago e Ferno Lonate Pozzolo.	140
Figura 7-12: Rappresentazione dell'interruzione della circolazione sul binario pari tra Ferno Lonate Pozzolo e il bivio Sacconago.	145
Figura 7-13: Rappresentazione dell'interruzione della circolazione sul binario dispari tra Ferno Lonate Pozzolo e Malpensa Aeroporto.	149
Figura 7-14: Rappresentazione dell'interruzione della circolazione sul binario pari tra Malpensa Aeroporto e Ferno Lonate Pozzolo.	154

Indice delle tabelle

Tabella 6-1: Estratto dell'SCCT di Saronno del 2 gennaio 2012.	78
Tabella 7-1: Riassunto localizzazione delle interruzioni programmate per manutenzione sulla Saronno – Malpensa Aeroporto	94
Tabella 7-2: Esempio di foglio elettronico utilizzato per il calcolo della caduta di IP5 riferito all'intera rete per una determinata interruzione.	99
Tabella 7-3: Classificazione delle interruzioni sulla base del loro impatto sull'IP5 riferito all'intera rete.	159
Tabella 7-4: Prospetto riassuntivo dell'impatto che le singole interruzioni hanno sul numero di treni che arrivano con ritardo > 5' e la caduta dell'IP5 riferito all'intera rete.....	160

Indice dei grafici

Grafico 5-1: Esempio di orario grafico: in evidenza quello programmato e quello simulato.....	69
Grafico 5-2: Esempio di diagramma grafico spazio-tempo di un treno che rappresenta diverse corse circolanti in un tratto di linea.	71
Grafico 5-3: Esempio di diagramma velocità-spazio relativa alla performance di una determinata motrice.	72
Grafico 6-1: Esempio di confronto per fascia oraria.	81
Grafico 6-2: Esempio di confronto per corsa.....	81
Grafico 6-3: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in partenza reali e l'andamento della media dei ritardi in partenza simulati (con performance del 90%, 93%, 95%) nell'impianto di Saronno per le corse aventi numerazione dispari.	83
Grafico 6-4: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in partenza reali e l'andamento della media dei ritardi in partenza simulati (con performance del 90%, 93%, 95%) nell'impianto di Malpensa Aeroporto per le corse aventi numerazione pari.	84
Grafico 6-5: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in partenza reali e l'andamento della media dei ritardi in partenza simulati (con performance del 90%, 93%, 95%) nell'impianto di Vanzaghello Magnago per le corse aventi numerazione pari.	85
Grafico 6-6: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in partenza reali e l'andamento della media dei ritardi in partenza simulati (con performance del 90%, 93%, 95%) nell'impianto di Busto Arsizio FN per le corse aventi numerazione dispari, provenienti da Bellinzona.	86
Grafico 6-7: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati (con performance del 90%, 93%, 95%) nell'impianto di Saronno per le corse aventi numerazione pari.	87
Grafico 6-8: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati (con performance del 90%, 93%, 95%) nell'impianto di Malpensa Aeroporto per le corse aventi numerazione dispari.	88
Grafico 6-9: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati (con performance del 90%, 93%, 95%) nell'impianto di Vanzaghello Magnago per le corse aventi numerazione dispari.	89
Grafico 6-10: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati (con performance del 90%, 93%, 95%) nell'impianto di Busto Arsizio FN per le corse aventi numerazione pari, diretti a Bellinzona.	90
Grafico 7-1: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari, divisi per fascia di ritardo, quando non sono in vigore interruzioni in linea.	100

Grafico 7-2: In alto, andamento durante la giornata dell' <i>IP5</i> ' <i>h</i> nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari. In basso, la rappresentazione del numero totale di treni in arrivo a Saronno con numerazione pari e quelli in arrivo a Saronno con numerazione pari con un ritardo inferiore a 5 minuti, quando non sono vigenti interruzioni in linea.	101
Grafico 7-3: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari, divisi per fascia di ritardo, quando non sono in vigore interruzioni in linea.	102
Grafico 7-4: In alto, andamento durante la giornata dell' <i>IP5</i> ' <i>h</i> nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari. In basso, la rappresentazione del numero totale di treni in arrivo a Malpensa Aeroporto con numerazione dispari e quelli in arrivo a Malpensa Aeroporto con numerazione dispari con un ritardo inferiore a 5 minuti, quando non sono vigenti interruzioni in linea.....	103
Grafico 7-5: Rappresentazione dell' <i>IP5</i> riferito all'intera rete quando non sono in vigore interruzioni sulla tratta di studio.	104
Grafico 7-6: Confronto fra gli <i>IP5</i> riferiti all'intera rete, secondo diversi scenari: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 1 e interruzione programmata 1 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	106
Grafico 7-7: Confronto fra gli <i>IP5</i> riferiti all'intera rete, secondo diversi scenari: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 2 e interruzione programmata 2 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	110
Grafico 7-8: Confronto fra gli <i>IP5</i> riferiti all'intera rete, secondo diversi scenari: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 3 e interruzione programmata 3 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	114
Grafico 7-9: Confronto fra gli <i>IP5</i> riferiti all'intera rete, secondo diversi scenari: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 4 e interruzione programmata 4 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	119
Grafico 7-10: Confronto fra gli <i>IP5</i> riferiti all'intera rete, secondo diversi scenari: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 5 e interruzione programmata 5 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	123
Grafico 7-11: Confronto fra gli <i>IP5</i> riferiti all'intera rete, secondo diversi scenari: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 6 e interruzione programmata 6 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	128
Grafico 7-12: Confronto fra gli <i>IP5</i> riferiti all'intera rete, secondo diversi scenari: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 7 e interruzione programmata 7 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	133
Grafico 7-13: Confronto fra gli <i>IP5</i> riferiti all'intera rete, secondo diversi scenari: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 8 e interruzione programmata 8 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	137

Grafico 7-14: Confronto fra gli <i>IP5</i> riferiti all'intera rete, secondo diversi scenari: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 9 e interruzione programmata 9 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	141
Grafico 7-15: Confronto fra gli <i>IP5</i> riferiti all'intera rete, secondo diversi scenari: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 10 e interruzione programmata 10 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	146
Grafico 7-16: Confronto fra gli <i>IP5</i> riferiti all'intera rete, secondo diversi scenari: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 11 e interruzione programmata 11 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	150
Grafico 7-17: Confronto fra gli <i>IP5</i> riferiti all'intera rete, secondo diversi scenari: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 12 e interruzione programmata 12 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	155
Grafico 11-1: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra l'andamento della media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati nell'impianto di Saronno per le corse aventi numerazione pari.	170
Grafico 11-2: Confronto per treno, lungo l'arco della giornata tra l'andamento della media dei ritardi in arrivo reali e il ritardo in arrivo simulato nell'impianto di Saronno per le corse aventi numerazione pari.	170
Grafico 11-3: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati nell'impianto di Malpensa Aeroporto per le corse aventi numerazione dispari.	171
Grafico 11-4: Confronto per treno, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e il ritardo in arrivo simulato nell'impianto di Malpensa Aeroporto per le corse aventi numerazione dispari.	171
Grafico 11-5: Confronto per fascia oraria lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati nell'impianto di Vanzaghello Magnago per le corse aventi numerazione dispari.	172
Grafico 11-6: Confronto per treno, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e il ritardo in arrivo simulato nell'impianto di Vanzaghello Magnago per le corse aventi numerazione dispari.	172
Grafico 11-7: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati nell'impianto di Busto Arsizio FN per le corse aventi numerazione pari.	173
Grafico 11-8: Confronto per treno, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali il ritardo in arrivo simulato nell'impianto di Busto Arsizio FN per le corse aventi numerazione pari.	173
Grafico 11-9: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra l'andamento della media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati nell'impianto di Saronno per le corse aventi numerazione pari.	174

Grafico 11-10: Confronto per treno, lungo l'arco della giornata tra l'andamento della media dei ritardi in arrivo reali e il ritardo in arrivo simulato nell'impianto di Saronno per le corse aventi numerazione pari.	174
Grafico 11-11: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati nell'impianto di Malpensa Aeroporto per le corse aventi numerazione dispari.	175
Grafico 11-12: Confronto per treno, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e il ritardo in arrivo simulato nell'impianto di Malpensa Aeroporto per le corse aventi numerazione dispari.	175
Grafico 11-13: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati nell'impianto di Vanzaghello Magnago per le corse aventi numerazione dispari.	176
Grafico 11-14: Confronto per treno, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e il ritardo in arrivo simulato nell'impianto di Vanzaghello Magnago per le corse aventi numerazione dispari.	176
Grafico 11-15: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati nell'impianto di Busto Arsizio FN per le corse aventi numerazione pari.	177
Grafico 11-16: Confronto per treno, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e il ritardo in arrivo simulato nell'impianto di Busto Arsizio FN per le corse aventi numerazione pari.	177
Grafico 11-17: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra l'andamento della media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati nell'impianto di Saronno per le corse aventi numerazione pari.	178
Grafico 11-18: Confronto per treno, lungo l'arco della giornata tra l'andamento della media dei ritardi in arrivo reali e il ritardo in arrivo simulato nell'impianto di Saronno per le corse aventi numerazione pari.	178
Grafico 11-19: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati nell'impianto di Malpensa Aeroporto per le corse aventi numerazione dispari.	179
Grafico 11-20: Confronto per treno, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e il ritardo in arrivo simulato nell'impianto di Malpensa Aeroporto per le corse aventi numerazione dispari.	179
Grafico 11-21: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati nell'impianto di Vanzaghello Magnago per le corse aventi numerazione dispari.	180
Grafico 11-22: Confronto per treno, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e il ritardo in arrivo simulato nell'impianto di Vanzaghello Magnago per le corse aventi numerazione dispari.	180

Grafico 11-23: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati nell'impianto di Busto Arsizio FN per le corse aventi numerazione pari.....	181
Grafico 11-24: Confronto per treno, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e il ritardo in arrivo simulato nell'impianto di Busto Arsizio FN per le corse aventi numerazione pari.	181
Grafico 11-25: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 1.....	182
Grafico 11-26: Rappresentazione delle percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 1 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.....	182
Grafico 11-27: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli <i>IP5' h</i> nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 1 e con l' interruzione programmata 1 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione pari nell'impianto di Saronno, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 1 e con l' interruzione programmata 1 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.....	183
Grafico 11-28: Confronto fra gli <i>IP5'</i> nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 1 e con l' interruzione programmata 1 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	183
Grafico 11-29: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 1.	184
Grafico 11-30: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 1 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	184
Grafico 11-31: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli <i>IP5' h</i> nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 1 e con l' interruzione programmata 1 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione dispari nell'impianto di Malpensa Aeroporto, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 1 e con l' interruzione programmata 1 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.....	185
Grafico 11-32: Confronto fra gli <i>IP5'</i> nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione	

programmata 1 e con l' interruzione programmata 1 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.....	185
Grafico 11-33: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 2.....	186
Grafico 11-34: Rappresentazione delle percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 2 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.....	186
Grafico 11-35: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli <i>IP5' h</i> nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 2 e con l' interruzione programmata 2 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione pari nell'impianto di Saronno, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 2 e con l' interruzione programmata 2 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.....	187
Grafico 11-36: Confronto fra gli <i>IP5'</i> nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 2 e con l' interruzione programmata 2 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.....	187
Grafico 11-37: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 2.....	188
Grafico 11-38: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 2 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.....	188
Grafico 11-39: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli <i>IP5' h</i> nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 2 e con l' interruzione programmata 2 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione dispari nell'impianto di Malpensa Aeroporto, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 2 e con l' interruzione programmata 2 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.....	189
Grafico 11-40: Confronto fra gli <i>IP5'</i> nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 2 e con l' interruzione programmata 2 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.....	189
Grafico 11-41: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 3.....	190

Grafico 11-42: Rappresentazione delle percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 3 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.....	190
Grafico 11-43: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli <i>IP5' h</i> nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 3 e con l' interruzione programmata 3 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione pari nell'impianto di Saronno, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 3 e con l' interruzione programmata 3 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.....	191
Grafico 11-44: Confronto fra gli <i>IP5'</i> nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 3 e con l' interruzione programmata 3 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	191
Grafico 11-45: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 3.	192
Grafico 11-46: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 3 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	192
Grafico 11-47: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli <i>IP5' h</i> nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 3 e con l' interruzione programmata 3 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione dispari nell'impianto di Malpensa Aeroporto, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 3 e con l' interruzione programmata 3 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.....	193
Grafico 11-48: Confronto fra gli <i>IP5'</i> nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 3 e con l' interruzione programmata 3 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.....	193
Grafico 11-49: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 4.....	194
Grafico 11-50: Rappresentazione delle percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 4 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.....	194
Grafico 11-51: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli <i>IP5' h</i> nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la	

presenza dell'interruzione programmata 4 e con l' interruzione programmata 4 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione pari nell'impianto di Saronno, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 4 e con l' interruzione programmata 4 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.....	195
Grafico 11-52: Confronto fra gli <i>IP5'</i> nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 4 e con l' interruzione programmata 4 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	195
Grafico 11-53: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 4.	196
Grafico 11-54: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 4 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	196
Grafico 11-55: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli <i>IP5' h</i> nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 4 e con l' interruzione programmata 4 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione dispari nell'impianto di Malpensa Aeroporto, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 4 e con l' interruzione programmata 4 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	197
Grafico 11-56: Confronto fra gli <i>IP5'</i> nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 4 e con l' interruzione programmata 4 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.....	197
Grafico 11-57: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 5.....	198
Grafico 11-58: Rappresentazione delle percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 5 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.....	198
Grafico 11-59: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli <i>IP5' h</i> nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 5 e con l' interruzione programmata 5 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione pari nell'impianto di Saronno, senza interruzioni in linea, con la presenza	

dell'interruzione programmata 5 e con l' interruzione programmata 5 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.....	199
Grafico 11-60: Confronto fra gli <i>IP5'</i> nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 5 e con l' interruzione programmata 5 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	199
Grafico 11-61: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 5.	200
Grafico 11-62: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 5 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	200
Grafico 11-63: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli <i>IP5' h</i> nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 5 e con l' interruzione programmata 5 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione dispari nell'impianto di Malpensa Aeroporto, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 5 e con l' interruzione programmata 5 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	201
Grafico 11-64: Confronto fra gli <i>IP5'</i> nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 5 e con l' interruzione programmata 5 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.....	201
Grafico 11-65: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 6.....	202
Grafico 11-66: Rappresentazione delle percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 6 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.....	202
Grafico 11-67: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli <i>IP5' h</i> nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 6 e con l' interruzione programmata 6 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione pari nell'impianto di Saronno, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 6 e con l' interruzione programmata 6 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.....	203
Grafico 11-68: Confronto fra gli <i>IP5'</i> nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 6 e con l' interruzione programmata 6 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	203

Grafico 11-69: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 6.	204
Grafico 11-70: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 6 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	204
Grafico 11-71: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli <i>IP5' h</i> nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 6 e con l' interruzione programmata 6 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione dispari nell'impianto di Malpensa Aeroporto, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 6 e con l' interruzione programmata 6 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	205
Grafico 11-72: Confronto fra gli <i>IP5'</i> nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 6 e con l' interruzione programmata 6 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	205
Grafico 11-73: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 7.	206
Grafico 11-74: Rappresentazione delle percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 7 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	206
Grafico 11-75: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli <i>IP5' h</i> nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 7 e con l' interruzione programmata 7 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione pari nell'impianto di Saronno, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 7 e con l' interruzione programmata 7 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	207
Grafico 11-76: Confronto fra gli <i>IP5'</i> nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 7 e con l' interruzione programmata 7 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	207
Grafico 11-77: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 7.	208

Grafico 11-78: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 7 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	208
Grafico 11-79: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli <i>IP5'</i> h nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 7 e con l' interruzione programmata 7 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione dispari nell'impianto di Malpensa Aeroporto, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 7 e con l' interruzione programmata 7 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	209
Grafico 11-80: Confronto fra gli <i>IP5'</i> nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 7 e con l' interruzione programmata 7 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	209
Grafico 11-81: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 8.	210
Grafico 11-82: Rappresentazione delle percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 8 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	210
Grafico 11-83: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli <i>IP5'</i> h nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 8 e con l' interruzione programmata 8 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione pari nell'impianto di Saronno, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 8 e con l' interruzione programmata 8 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	211
Grafico 11-84: Confronto fra gli <i>IP5'</i> nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 8 e con l' interruzione programmata 8 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	211
Grafico 11-85: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 8.	212
Grafico 11-86: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 8 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	212
Grafico 11-87: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli <i>IP5'</i> h nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni	

	in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 8 e con l' interruzione programmata 8 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione dispari nell'impianto di Malpensa Aeroporto, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 8 e con l' interruzione programmata 8 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	213
Grafico 11-88:	Confronto fra gli <i>IP5'</i> nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 8 e con l' interruzione programmata 8 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	213
Grafico 11-89:	Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 9.	214
Grafico 11-90:	Rappresentazione delle percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 9 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	214
Grafico 11-91:	In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli <i>IP5' h</i> nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 9 e con l' interruzione programmata 9 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione pari nell'impianto di Saronno, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 9 e con l' interruzione programmata 9 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	215
Grafico 11-92:	Confronto fra gli <i>IP5'</i> nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 9 e con l' interruzione programmata 9 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	215
Grafico 11-93:	Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 9.	216
Grafico 11-94:	Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 9 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	216
Grafico 11-95:	In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli <i>IP5' h</i> nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 9 e con l' interruzione programmata 9 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione dispari nell'impianto di Malpensa Aeroporto, senza	

interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 9 e con l' interruzione programmata 9 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.....	217
Grafico 11-96: Confronto fra gli <i>IP5'</i> nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 9 e con l' interruzione programmata 9 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.....	217
Grafico 11-97: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 10.....	218
Grafico 11-98: Rappresentazione delle percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 10 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.....	218
Grafico 11-99: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli <i>IP5' h</i> nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 10 e con l' interruzione programmata 10 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione pari nell'impianto di Saronno, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 10 e con l' interruzione programmata 10 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.....	219
Grafico 11-100: Confronto fra gli <i>IP5'</i> nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 10 e con l' interruzione programmata 10 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	219
Grafico 11-101: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 10.	220
Grafico 11-102: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 10 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	220
Grafico 11-103: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli <i>IP5' h</i> nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 10 e con l' interruzione programmata 10 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione dispari nell'impianto di Malpensa Aeroporto, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 10 e con l' interruzione programmata 10 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	221
Grafico 11-104: Confronto fra gli <i>IP5'</i> nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione	

programmata 10 e con l' interruzione programmata 10 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.....	221
Grafico 11-105: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 11.....	222
Grafico 11-106: Rappresentazione delle percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 11 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	222
Grafico 11-107: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli <i>IP5' h</i> nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 11 e con l' interruzione programmata 11 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione pari nell'impianto di Saronno, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 11 e con l' interruzione programmata 11 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.....	223
Grafico 11-108: Confronto fra gli <i>IP5'</i> nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 11 e con l' interruzione programmata 11 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	223
Grafico 11-109: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 11.....	224
Grafico 11-110: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 11 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	224
Grafico 11-111: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli <i>IP5' h</i> nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 11 e con l' interruzione programmata 11 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione dispari nell'impianto di Malpensa Aeroporto, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 11 e con l' interruzione programmata 11 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.....	225
Grafico 11-112: Confronto fra gli <i>IP5'</i> nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 11 e con l' interruzione programmata 11 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.....	225
Grafico 11-113: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 12.....	226

Grafico 11-114: Rappresentazione delle percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 12 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	226
Grafico 11-115: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli <i>IP5' h</i> nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 12 e con l' interruzione programmata 12 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione pari nell'impianto di Saronno, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 12 e con l' interruzione programmata 12 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.....	227
Grafico 11-116: Confronto fra gli <i>IP5'</i> nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 12 e con l' interruzione programmata 12 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	227
Grafico 11-117: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 12.	228
Grafico 11-118: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 12 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	228
Grafico 11-119: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli <i>IP5' h</i> nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 12 e con l' interruzione programmata 12 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione dispari nell'impianto di Malpensa Aeroporto, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 12 e con l' interruzione programmata 12 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	229
Grafico 11-120: Confronto fra gli <i>IP5'</i> nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 12 e con l' interruzione programmata 12 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.	229

Indice degli allegati

Allegato 1: Grafici di scenario di simulazione al 90% di performance	170
Allegato 2: Grafici di scenario di simulazione al 93% di performance	174
Allegato 3: Grafici di scenario di simulazione al 95% di performance	178
Allegato 4: Grafici di analisi dei ritardi e dell'IP5 con IPM 1	182
Allegato 5: Grafici di analisi dei ritardi e dell'IP5 con IPM 2	186
Allegato 6: Grafici di analisi dei ritardi e dell'IP5 con IPM 3	190
Allegato 7: Grafici di analisi dei ritardi e dell'IP5 con IPM 4	194
Allegato 8: Grafici di analisi dei ritardi e dell'IP5 con IPM 5	198
Allegato 9: Grafici di analisi dei ritardi e dell'IP5 con IPM 6	202
Allegato 10: Grafici di analisi dei ritardi e dell'IP5 con IPM 7	206
Allegato 11: Grafici di analisi dei ritardi e dell'IP5 con IPM 8	210
Allegato 12: Grafici di analisi dei ritardi e dell'IP5 con IPM 9	214
Allegato 13: Grafici di analisi dei ritardi e dell'IP5 con IPM 10	218
Allegato 14: Grafici di analisi dei ritardi e dell'IP5 con IPM 11	222
Allegato 15: Grafici di analisi dei ritardi e dell'IP5 con IPM 12	226

Riassunto

Questo studio affronta il problema di riuscire a definire gli effetti causati dalle interruzioni programmate di binario sulla circolazione dei treni; infatti, la necessità di contenimento dei costi da parte delle aziende ferroviarie spinge a ricercare nuovi spazi temporali diurni per poter effettuare le operazioni di manutenzione.

La ricerca degli spazi temporali diurni e la definizione degli effetti delle interruzioni sono problemi la cui risoluzione è stata sempre affidata all'esperienza del personale addetto ma che oggi può avvalersi di numerosi software di simulazione ferroviaria presenti sul mercato. Fra i numerosi programmi, *OpenTrack* è uno dei più apprezzati e la sua qualità è stata avvalorata da numerose prove campione effettuate durante lo svolgimento del lavoro.

OpenTrack ha permesso di simulare gli scenari derivanti dalle interruzioni, definendo le conseguenze delle stesse e permettendo quindi al gestore dell'infrastruttura il compimento di scelte più consapevoli. L'utilizzo del software ha messo inoltre in luce eccellenze e punti deboli, osservazioni preziose dunque per coloro che intendono farne uso in un futuro per nuovi studi nel settore.

Abstract

This study faces the problem of being able to define the effects on train circulation caused by planned track interruptions; indeed, the need to contain costs by railway companies prompts them to seek new diurnal temporal spaces in order to perform maintenance operations.

The research of temporal spaces during the day and the definition of effects of interruptions are problems whose resolution has always relied on the staff experience but now can make use of the numerous railway simulation software on the market. Among programs, *OpenTrack* is one of the most appreciated and its quality has been confirmed by numerous tests carried out during the work.

OpenTrack has simulate scenarios resulting from interruptions, defining their effects and so allowing the infrastructure manager to be more aware of choices. The use of the software has also identified excellences and weaknesses, valuable observations for those who intend to use them in the future for new studies in the field.

1. Introduzione

L'intento di approfondire le tematiche legate alla circolazione ferroviaria, all'organizzazione dei cantieri e alla manutenzione dell'infrastruttura mi ha incentivato a cogliere l'occasione di intraprendere un periodo di stage presso *FerrovieNord* S.p.A..

Il tirocinio effettuato presso il *Servizio Circolazione* all'unità di *Monitoraggio circolazione e produzione tracce orario* della società *FerrovieNord* S.p.A. è stato il punto di partenza per lo sviluppo di questo elaborato. Lo stage ha permesso non solo l'approfondimento delle conoscenze acquisite durante gli studi presso il Politecnico ma anche la definizione degli effetti causati dalle interruzioni programmate di binario sulla circolazione dei treni; infatti, la necessità di contenimento dei costi da parte delle aziende ferroviarie spinge loro a ricercare nuovi spazi temporali diurni per poter effettuare le operazioni di manutenzione.

La ricerca degli spazi temporali diurni e la definizione degli effetti delle interruzioni sono problemi la cui risoluzione è stata sempre affidata all'esperienza del personale addetto ma che oggi può avvalersi di numerosi software di simulazione ferroviaria presenti sul mercato. Fra i numerosi programmi, *OpenTrack* è uno dei più apprezzati e la sua qualità è stata avvalorata da numerose prove campione effettuate durante lo svolgimento del tirocinio.

La decisione di utilizzare il software *OpenTrack* ha rappresentato un'utilità anche per l'azienda ospitante perché ha permesso di mettere in luce punti di forza e i limiti del programma e di delinearne maggiormente il grado di affidabilità. Queste ultime considerazioni risultano preziose soprattutto per coloro che in un futuro decideranno di sviluppare nuovi elaborati con l'ausilio di questo software o che decideranno di utilizzarlo come supporto decisionale.

Le infrastrutture di meno recente costruzione, come quelle più giovani, devono affrontare durante la loro vita utile delle manutenzioni programmate per riuscire a garantire prestazioni elevate al passo con le esigenze della circolazione stessa; la manutenzione programmata evita loro di incorrere in manutenzioni straordinarie. Alcune di queste manutenzioni programmate sono effettuabili nottetempo altre invece durante il giorno e sono accompagnate da particolari interventi volti alla regolarizzazione della circolazione ferroviaria.

La manutenzione va intesa sempre come passo essenziale e non come impedimento alla circolazione: senza la manutenzione dell'infrastruttura non ci potrebbe essere condizione per l'evoluzione dell'offerta ferroviaria.

Negli ultimi anni si è registrato un crescente aumento di produzione (in termini di treno/km) dovuto sia all'infittimento dell'offerta ferroviaria sia ad un'estensione dell'area del servizio: questo ha spinto *Ferrovie Nord* in un'ottica complessiva di contenimento dei costi e a valutare la possibilità di compiere lavori di manutenzione programmata soprattutto in orario diurno.

Infatti, i costi dei lavori di manutenzione effettuati in orario notturno generalmente comportano un costo maggiore rispetto a quelli in orario diurno; pertanto occorre stimare se sia meglio interrompere parzialmente la circolazione e permettere i lavori durante il giorno sopportando disagi che restano nei limiti dell'accettabilità oppure se sia preferibile prediligere la fascia notturna che tecnicamente è quella più indicata per la quasi totale assenza di treni in circolazione.

Al fine di valutare la fattibilità di intervento con processi manutentivi in fase diretta, ci si è avvalsi del software *OpenTrack* che consente la riproduzione virtuale dell'infrastruttura ferroviaria e, unitamente alle tipologie di convogli circolanti e all'orario di servizio associato, permette la simulazione della circolazione e l'individuazione di eventuali interferenze in ambito ferroviario. Il programma consente quindi di valutare preventivamente l'impatto dei lavori di manutenzione sulla fluidità della circolazione mettendo in grado il gestore dell'infrastruttura di scegliere se effettuare i lavori durante il giorno interrompendo una via e regolando la circolazione sul binario attiguo oppure continuare a dedicare la fascia notturna per i lavori di manutenzione.

Nelle pagine seguenti, si è valutato l'impatto sulla marcia dei treni dell'interruzione di un binario nella tratta Saronno – Malpensa Aeroporto e la conseguente circolazione a binario singolo, con l'obiettivo di ridurre al minimo l'influenza dei lavori sulla regolarità della circolazione. Si vuole raggiungere il risultato di ottenere una visione complessiva e per quanto più possibile chiara dell'impatto che le diverse interruzioni hanno sulla circolazione ferroviaria mettendo in luce ritardi, problemi isolati o in cascata.

Per raggiungere lo scopo si sono ipotizzati diversi scenari di interruzione applicati a parzialiizzazioni della tratta complessiva: questa scelta, per come è concepita la struttura di orario, ha consentito di ridurre al minimo le interferenze nella marcia dei treni interessati.

In conclusione, perseguendo l'obiettivo di portare a conoscenza il gestore dell'infrastruttura degli effetti delle interruzioni programmate di binario necessarie ai fini della manutenzione, la tesi si propone anche come una prova ulteriore dell'affidabilità del programma *OpenTrack* nel supporto decisionale.

2. Stato dell'arte

Il tirocinio svolto presso il *servizio circolazione* all'unità di *monitoraggio circolazione e produzione tracce orario* della società FerrovieNord S.p.A. mi ha portato alla conoscenza del software *OpenTrack* e mi ha fatto comprendere la necessità di studio del programma stesso al fine di poterne fare un solido supporto decisionale.

Il lavoro di tesi svolto ha avuto origine con una fase importante di ricerca bibliografica a partire da testi generali inerenti all'ambito ferroviario, fra i più importanti si cita:

- *Regolamenti e sicurezza della circolazione ferroviaria* (De Palatis, 1995)
- *L'avvenire della sicurezza. Esperienze e prospettive* (De Palatis, 2000)
- *Tecnica della circolazione ferroviaria* (Bianchi e Rizzo, 1980)
- *Elementi generali dell'esercizio ferroviario* (Cesari, Lucchetti e Rizzo, 1999)
- *Organizzazione e tecnica ferroviaria* (Vicuna, 2001)
- *Impianti ferroviari* (Mayer, 2004)
- *Blocco automatico a correnti codificate* (Finzi, L. Gerini)

La consultazione dei precedenti manuali è servita come punto di partenza per il ripasso e l'approfondimento della circolazione ferroviaria e dell'esercizio ma anche degli impianti ferroviari stessi. Successivamente è stato necessario avere un quadro normativo di riferimento: si ritenuto di fondamentale importanza lo studio di alcuni regolamenti di FerrovieNord quali:

- *Regolamento per la circolazione dei treni* - (FERROVIENORD, 1984 rist. 2000 – O.S. 06/2012)
- *Prefazione all'orario di servizio* – (FERROVIENORD, 1976, rist. 2000 – O.S. 24/2013)
- *Regolamento Segnali* (FERROVIENORD, 1981 rist. 2012 – O.S. 07/2012)
- *Orario di Servizio* (FERROVIENORD, 2012 – C.d.E. 08/2012)
- *Istruzioni per l'esercizio degli apparati centrali (Libro III) – Apparato centrale elettrico a pulsanti di itinerario* (FERROVIENORD)
- *Disposizioni per l'esercizio in telecomando* (FERROVIENORD, 2008 rist. 2012 - O.S. 08/2012)
- *Istruzioni per l'esercizio con sistema di blocco elettrico automatico* (FERROVIENORD, 2012 - O.S. 10/2012).
- *Istruzioni per l'esercizio con sistema di blocco elettrico conta-assi* (FERROVIENORD, 2012 - O.S. 11/2012).

Inoltre alcuni mesi sono stati messi a profitto per l'apprendimento del funzionamento del software *OpenTrack* studiando il manuale *OpenTrack, Simulation of Railway Networks version 1.4* (Huerlimann D., Nash A.B.) in lingua inglese.

OpenTrack non è l'unico software di simulazione ferroviaria esistente, tuttavia un grande numero di aziende lo utilizza a dispetto di altri programmi. In particolare, diversi studenti e ricercatori hanno in passato utilizzato il software *OpenTrack* per i loro elaborati, tra questi sono risultati interessanti:

- Politecnico di Milano – corso di laurea magistrale in ingegneria meccanica - *Programma di esercizio della stazione di Milano Centrale in funzione dell'attivazione dell'innesto della nuova linea Venezia* (Giorgio Stabilini, 2009)
- Università di Roma Tre – dottorato di ricerca in infrastrutture di trasporto - *Sicurezza e capacità della circolazione ferroviaria: ruolo delle norme regolamentari* (Francesco Sorace, 2012).

La tesi di laurea qui presentata quindi, non solo utilizza il software *OpenTrack* come strumento di simulazione ferroviaria per delineare gli effetti delle interruzioni programmate per manutenzione lungo la Saronno – Malpensa Aeroporto ma, analogamente alle tesi citate precedentemente, contribuisce a mettere in luce degli aspetti positivi e negativi del funzionamento del programma.

3. Le Ferrovie Nord Milano

3.1. La storia di Ferrovie Nord Milano



Figura 3-1: La rete di Ferrovie Nord: linee attive e chiuse al traffico.

La società di *Ferrovie Nord Milano* (attuale FNM) nacque nel 1877 per costruire e gestire linee ferroviarie in territorio Lombardo; il fondatore è il belga Albert Vaucamps. In particolare la ferrovia Milano–Saronno fu inaugurata il 22 marzo 1879, mentre la Milano–Erba fu aperta il 31 dicembre dello stesso anno.

Nel 1883, la società fu rinominata *Società Anonima per le Ferrovie Nord Milano* (FNM).

Nel 1888 fece il suo ingresso nel capitale sociale la *Società per le ferrovie del Ticino* (SFT), controllata dalla *Société anonyme belge-italienne de chemin de fer* a sua volta controllata dalla *Société generale de Belgique* che divenne maggioritaria nella società ferroviaria italiana. La SFT gestiva in concessione le ferrovie Como–Varese–Laveno e Saronno–Malnate e la tranvia Saronno–Fino Mornasco–Como

che, grazie ad un accordo tra la Provincia di Como, la società belga e le Ferrovie Nord Milano, furono passate a quest'ultima.

Nel 1890, la Società Anonima per la Ferrovia Novara–Seregno sub concesse l'esercizio ferroviario della sua linea alle *Ferrovie Nord*, mentre il 1° giugno 1898 fu inaugurato il tratto ferroviario Saronno–Grandate che consentì il collegamento diretto fra Milano e la città di Como.

Tra la fine del XIX secolo e l'inizio del XX, la società si trovò a gestire una vasta rete ferroviaria nel nord milanese posta a diretta concorrenza con quella gestita dalla *Società per le Strade Ferrate del Mediterraneo*. Nel 1907, a seguito della nazionalizzazione delle ferrovie, la *Mediterranea* (ora non più diretta concorrente) entrò nel capitale sociale della società rilevando le quote dalla società belga.

Nel 1917, la FNM ottenne dalla *Società Anonima per la Ferrovia Novara–Seregno*, l'esercizio della linea Castellanza–Valmorea. Fu costituita una società *ad hoc* per la costruzione della tratta svizzera fino a Mendrisio.

Nel 1922 fu prolungata la Milano–Erba fino ad Asso, mentre nel 1926 fu completata la costruzione del tratto svizzero della Ferrovia internazionale. Due anni dopo, però, il traffico internazionale su questa linea fu sospeso.

Dal 1929 iniziò il processo di elettrificazione che durò fino al dicembre 1953. Le prime tratte coinvolte furono la Milano–Saronno e la Milano–Meda, mentre nel 1937 fu il turno della Saronno–Como.

Nel 1943 avvenne la fusione per incorporazione della *Società Anonima per la Ferrovia Novara–Seregno*, già partecipata dalle FNM, nella *Società Anonima per le Ferrovie Nord Milano* che divenne *Ferrovie Nord Milano S.p.A.*. Nello stesso anno, anche la *Società Ausiliare Lombarda Autotrasporti* (ALA) fu incorporata nelle *Ferrovie Nord* portando in dotazione il suo pacchetto di concessione relative al trasporto pubblico su gomma.

Dopo la seconda guerra mondiale continuò il processo di elettrificazione.

Nel 1958 fu soppresso il traffico passeggeri sulla Saronno–Seregno, mentre nel 1966 fu soppressa completamente la Malnate–Grandate, terminando le corse dirette fra Varese e Como.

Una novità importante per le Ferrovie Nord Milano arrivò nel 1974, quando la *Mittel - Società industriale mediterranea S.p.A.* (che dal 1969 fu la denominazione della *Mediterranea*) cedette il controllo alla Regione Lombardia.

Nel 1977 si chiuse l'ultimo tratto sopravvissuto della Ferrovia internazionale: il Castellanza-Lonate Ceppino.

Agli inizi degli anni ottanta, l'amministrazione regionale procedette ad una ristrutturazione aziendale che culminò nel 1985 con la tramutazione della *Ferrovie Nord Milano S.p.A* in holding e con il trasferimento dei rami aziendali in società separate e controllate dalla capogruppo. Si costituirono così due società: la *Ferrovie Nord Milano Esercizio S.p.A.*, la cui competenza era rivolta alla rete ferroviaria (infrastruttura, trasporto di passeggeri e merci) e la *Ferrovie Nord Milano Autoservizi S.p.A.*, che si sarebbe occupata dei trasporti pubblici automobilistici.

Nel 1993, le due controllate incorporarono i rami aziendali della *Società Nazionale Ferrovie e Tramvie* relativi al trasporto ferroviario e su gomma, estendendo la zona servita dal gruppo anche alle province di Cremona e di Brescia. In particolare la società acquisì la ferrovia Rovato / Brescia – Iseo – Edolo.

Nel 2004, in coerenza al principio della separazione tra rete e servizio ferroviario, sono create due aziende distinte: *Ferrovie Nord Milano Esercizio* per la gestione della rete e *Ferrovie Nord Milano Trasporti* per il trasporto passeggeri. La riorganizzazione dell'assetto societario è proseguita nello stesso anno con la creazione di *Ferrovie Nord Cargo* (ora *NORDCARGO*), l'azienda per il trasporto merci.

Il 29 aprile 2006, con l'adozione di una nuova corporate identity per le società del Gruppo FNM, *Ferrovie Nord Milano Esercizio* cambia la propria ragione sociale in *FERROVIENORD*. Contestualmente, *Ferrovie Nord Milano Trasporti* diventano *Le NORD*.

Il 9 settembre 2007 è attivato il quadruplicamento dei binari tra Cadorna e Bovisa (la tratta urbana della rete *FERROVIENORD*) dove convergono le linee da e per Saronno, Como, Asso, Varese-Laveno, Novara e Malpensa. Il quadruplicamento, la cui realizzazione ha richiesto nove anni di lavori, è stato uno degli interventi infrastrutturali più rilevanti per il trasporto pubblico locale in Lombardia.

A gennaio 2009 è perfezionata la cessione del 49% del capitale sociale di *NORDCARGO S.r.l.* a favore di *DB SchenkerRail Italia S.r.l.*, società del Gruppo tedesco *DB Schenker*.

A gennaio 2010, con la cessione di una nuova quota dell'11%, *DB SchenkerRail Italia S.r.l.* diventa socio di maggioranza di *NORDCARGO S.r.l.* Il Gruppo FNM continua a detenere una partecipazione pari al 40%.

Controllata al 100% da FNM, *FERROVIENORD* gestisce più di 300 km di rete e 120 stazioni dislocate su cinque linee nell'hinterland a nord di Milano e nelle province di Milano, Varese, Como, Novara, Brescia, su cui transitano 800 treni al giorno.

Accanto all'attività finalizzata alla circolazione dei treni, *FERROVIENORD* si occupa della manutenzione ordinaria e straordinaria della rete, del suo adeguamento e dell'assistenza ai lavori di potenziamento, nonché delle attivazioni di nuovi impianti.

3.2. La rete al giorno d'oggi

La rete di Ferrovie Nord Milano è possibile scomporla in otto tratte principali:

- Milano Cadorna – Milano Bovisa
- Milano Bovisa - Saronno
- Milano Bovisa – Canzo Asso\ Camnago
- Saronno – Seregno
- Saronno – Malpensa Aeroporto\ Novara
- Saronno – Varese – Laveno
- Saronno – Como Lago
- Brescia \ Rovato Borgo – Edolo

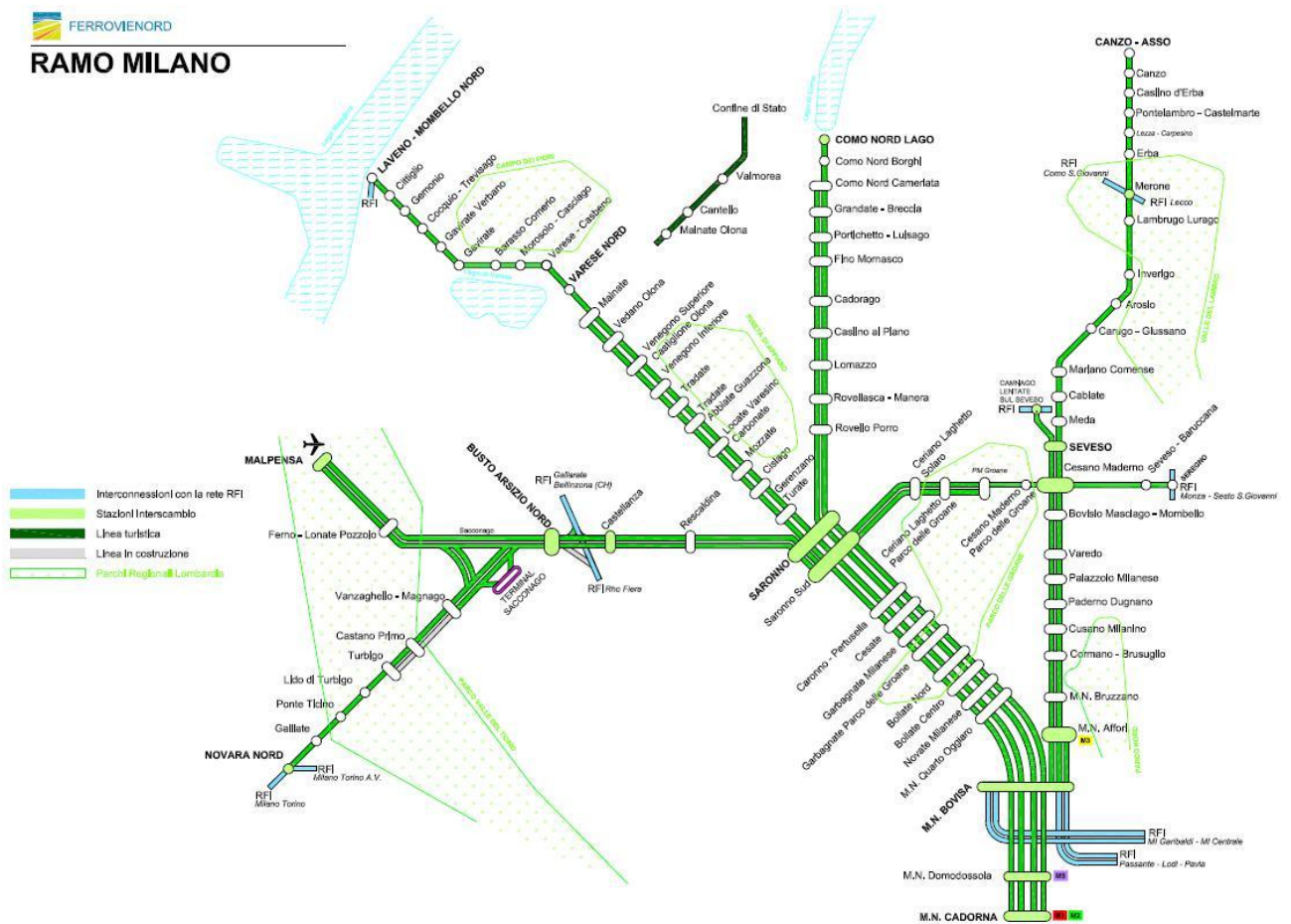


Figura 3-2: La rete di Ferrovie Nord Milano – ramo Milano.

3 ottobre 2013



Figura 3-3: La rete di Ferrovie Nord Milano – ramo Iseo– Edolo.

4. La Circolazione ferroviaria

Nonostante il lettore esperto sia già a conoscenza delle nozioni base, si ritiene utile fornire alcuni approfondimenti legati alla circolazione ferroviaria, con specifiche riguardanti la linea di studio Saronno – Malpensa Aeroporto. Infatti è importante riconoscere le caratteristiche della linea perché alcune di esse devono essere inserite all'interno dell'infrastruttura virtuale: maggiori sono le informazioni sulla linea fornite al programma e più la simulazione riprodotta da OpenTrack sarà fedele alla realtà.

4.1. La circolazione ferroviaria: generalità

La circolazione ferroviaria è realizzata nel pieno rispetto della sicurezza e con l'obiettivo della regolarità; questo comporta l'impiego di attrezzature tecnologiche e la definizione di norme di esercizio tali per cui ogni treno possa circolare sull'infrastruttura senza incontrare ostacoli di alcun genere.

Gli ostacoli che possono interferire con la circolazione dei treni si raggruppano in due categorie: *trasversali* come la presenza di elementi estranei che invadono la sede ferroviaria, e *longitudinali* come la presenza di altri treni in linea. Per evitare che un treno rappresenti per un altro un ostacolo longitudinale è bene operare il distanziamento fra i treni che si susseguono nello stesso senso di marcia e il controllo del loro transito sulle linee a semplice binario. Il distanziamento consiste nel mantenere una distanza superiore allo spazio di arresto fra un treno e quelli che lo precedono e lo seguono.

Oltre al distanziamento in linea, al fine della sicurezza, è anche importante disciplinare l'invio dei treni che circolano in senso opposto su linee a semplice binario e l'organizzazione del movimento nell'ambito delle stazioni. Nel primo caso si effettueranno delle precedenza che consistono nell'arresto di un treno lento in una stazione attrezzata per poterlo fare precedere da treni più veloci; nel secondo caso si effettuano degli incroci ossia si arresta un treno in una stazione fintantoché i treni provenienti dal senso opposto non liberano il tratto di linea d'interesse.

Un tratto di linea dove circolano treni che effettuano lo stesso tipo di servizio si dirà *omotachica* mentre un tratto dove circolano diversi treni che effettuano servizi diversi si dirà *eterotachica*.

Per conseguire la sicurezza di circolazione in linea, le reti ferroviarie attuano diversi regimi di circolazione, per la cui realizzazione si avvalgono di impianti tecnologici che permettono di supportare il personale addetto alla circolazione.

In stazione, la sicurezza è garantita dall'impiego di apparati centrali che permettono di definire gli itinerari percorribili dai treni e proteggere opportunamente il loro movimento da indebiti conflitti con altri treni.

4.2. Linee, Località di servizio e treni

4.2.1. Linee

La circolazione ferroviaria si svolge su linee ad uno o più binari: le linee a *semplice binario* sono attrezzate per la circolazione dei treni nei due sensi sull'unica sede disponibile mentre le *linee a doppio binario* sono attrezzate per la circolazione dei treni sul binario di sinistra per ciascun senso di marcia: questo binario è detto legale. Quando eccezionalmente i treni percorrono il binario di destra, si dice che essi viaggiano sul *binario illegale* e norme particolari di circolazione possono essere impartite dalla Direzione dell'Esercizio per le linee a doppio binario che siano specialmente attrezzate per l'uso promiscuo di ciascun binario nei due sensi.

Le linee sono divise in tronchi delimitati da stazioni capotronco.

Lungo le linee esistono località di servizio con diverse caratteristiche e funzioni.

4.2.2. Località di servizio

Per *località di servizio* si intende una località avente un determinato significato per il servizio e per la circolazione ferroviaria; sono suddivisibili in:

- Stazioni
- Bivi
- Posti di comunicazione
- Fermate e posti di blocco intermedi

4.2.2.1. Stazioni

Le *stazioni* sono le località di servizio normalmente delimitate da segnali di protezione, utilizzate per regolare la circolazione dei treni e munite di impianti atti ad effettuare le precedenza fra treni nello stesso senso e, sul semplice binario, gli incroci fra treni in senso opposto.

Le stazioni possono ulteriormente essere suddivise in:

- *stazioni di diramazione* nelle quali convergono due o più linee
- *stazioni di passaggio* fra il doppio ed il semplice binario
- *stazioni capotronco* che delimitano un tronco di linea ed assumono particolari funzioni per la circolazione

Nell'ambito delle stazioni si distinguono i *binari di circolazione* (di arrivo, partenza o transito dei treni) ed i *binari secondari* (non adibiti normalmente al movimento dei treni).

Vengono denominati *binari di corsa* i binari di circolazione che costituiscono la diretta prosecuzione delle linee nell'ambito della stazione. Tali binari, generalmente di più corretto tracciato, sono quelli utilizzati di regola per il transito dei treni senza fermata.

4.2.2.2. Bivi

Sono denominati *bivi* le località di servizio protette da segnali fissi, situate fuori dalle stazioni e da cui si diramano due o più linee.

4.2.2.3. Posti di comunicazione

Sono denominate *posti di comunicazione* le località di servizio poste su linee a doppio binario, protette da segnale di blocco, sprovviste di segnale di partenza e di impianti atti ad effettuare precedenza, ma munite di comunicazioni per il passaggio da un binario all'altro.

Dette località di servizio, quando non sono esercitate in telecomando, possono essere impresenziate oppure presenziate da dirigente movimento o da agente di guardia; in quest'ultimo caso la manovra dei deviatori è inibita.

4.2.2.4. Fermate

Sono denominate *fermate* le località, adibite al servizio per il pubblico, in cui non si possono effettuare incroci e precedenza. Le fermate possono anche non essere presenziate e possono trovarsi anche nell'ambito di una stazione.

4.2.2.5. Posti intermedi e di linea

Sono denominate *posti intermedi* le località di servizio seguenti: bivi, posti di comunicazione, fermate, stazioni disabilite e posti di blocco intermedi, salvo il caso in cui vengano presenziate da dirigente movimento; in tal caso sono assimilate, ai fini della circolazione, alle stazioni.

Sono denominati *posti di linea* i posti fissi situati nei caselli e nelle garette che effettuano la custodia dei passaggi a livello (esclusi quelli in consegna alle stazioni abilitate).

I posti intermedi che manovrano passaggi a livello sono assimilati ai posti di custodia per quanto riguarda il servizio dei passaggi a livello stessi.

4.2.2.6. Posti di blocco intermedi

Fra due stazioni successive possono esistere posti di servizio, muniti di segnali fissi ed adibiti al distanziamento dei treni, che sono denominati *posti di blocco intermedi*.

4.2.3. Treni

Agli effetti della circolazione sulla linea, costituisce il treno qualsiasi mezzo di trazione, con o senza veicoli, che debba viaggiare da una ad altra località di servizio o che parta da una località per disimpegnare un servizio lungo la linea e faccia ritorno nella località stessa.

La denominazione e la qualità di treno vengono assunte alla partenza dalla località di origine e conservate durante il viaggio, l'arrivo, la sosta e la partenza nei punti intermedi del percorso, fino all'arrivo nella località terminale di esso. Però qualsiasi movimento effettuato durante le soste nelle località di servizio deve considerarsi manovra.

4.2.4. La linea Saronno – Malpensa Aeroporto

4.2.4.1. L'infrastruttura

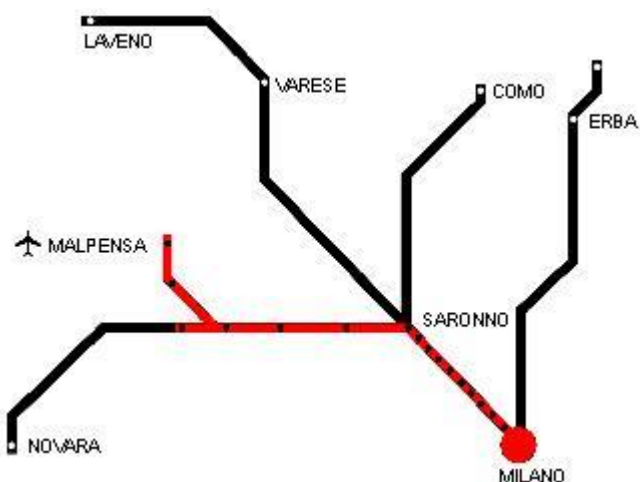


Figura 4-1: Schema della linea Milano - Saronno - Malpensa Aeroporto all'interno della rete di Ferrovie Nord.

La stazione di Saronno si compone di otto binari di cui due binari tronchi: i sei binari di circolazione sono utilizzati generalmente per il servizio viaggiatori dei servizi Regionali (R) e Regioexpress (RE) da Milano per Novara, Malpensa Aeroporto, Varese, Laveno Mombello, Como Lago e viceversa; i due binari tronchi sono utilizzati per l'attestamento dei servizi suburbani S1 (Lodi – Milano passante - Saronno) e S3 (Milano Cadorna - Saronno) eccezione fatta per la linea S9 (Saronno – Milano cintura - Albairate) provvisoriamente attestata al binario V o VI.

La stazione di Saronno possiede inoltre un parco chiamato *machine* e un parco chiamato *deposito*.

Dalla stazione di Saronno si diparte la linea per Malpensa Aeroporto/Novara:

Il primo tratto la linea serve le località di Rescaldina, Castellanza e Busto Arsizio FN; il bivio Sacconago separa due diramazioni: quella che procede verso Novara e quella che procede verso Milano Malpensa. Il bivio Sacconago consente, anche provenendo da Novara, attraverso un raccordo

3 ottobre 2013

a doppio binario di raggiungere l'aeroporto di Milano Malpensa e viceversa: questo raccordo è stato in passato utilizzato per creare un'offerta di collegamento tra la Val di Susa e l'aeroporto di Malpensa per le Olimpiadi invernali di Torino 2006.

Nel secondo tratto di linea che collega il bivio Sacconago con l'Aeroporto di Milano Malpensa serve la località intermedia di Ferno Lonate Pozzolo; la stazione aeroportuale si trova in corrispondenza del Terminal 1 dell'aeroporto internazionale di Milano Malpensa e si compone di quattro binari di circolazione.

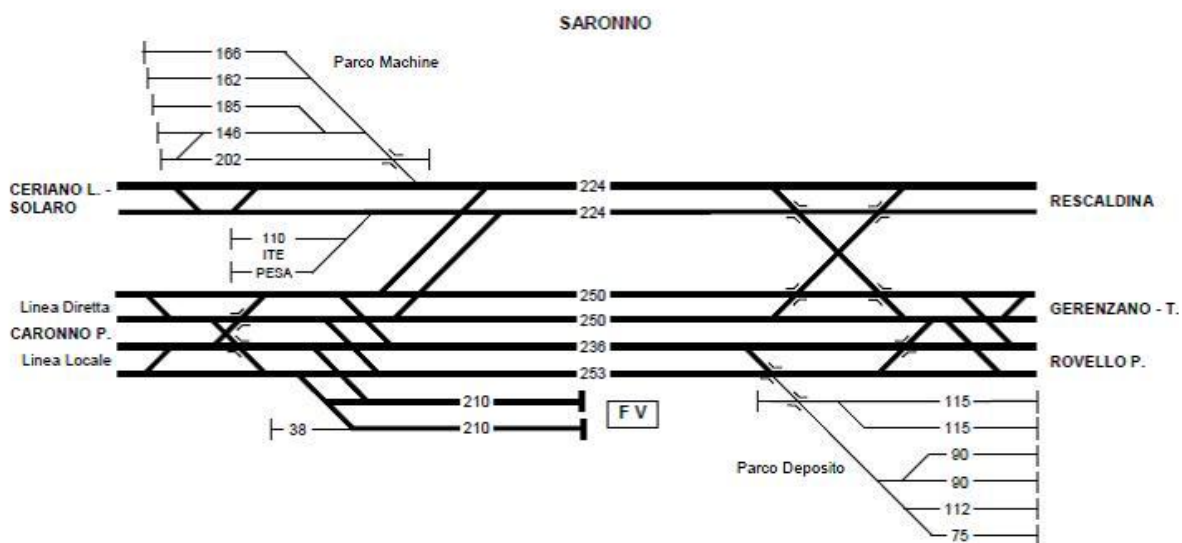


Figura 4-2: Schema planimetrico dell'impianto di Saronno della Prefazione all'orario di servizio di Ferrovie Nord.

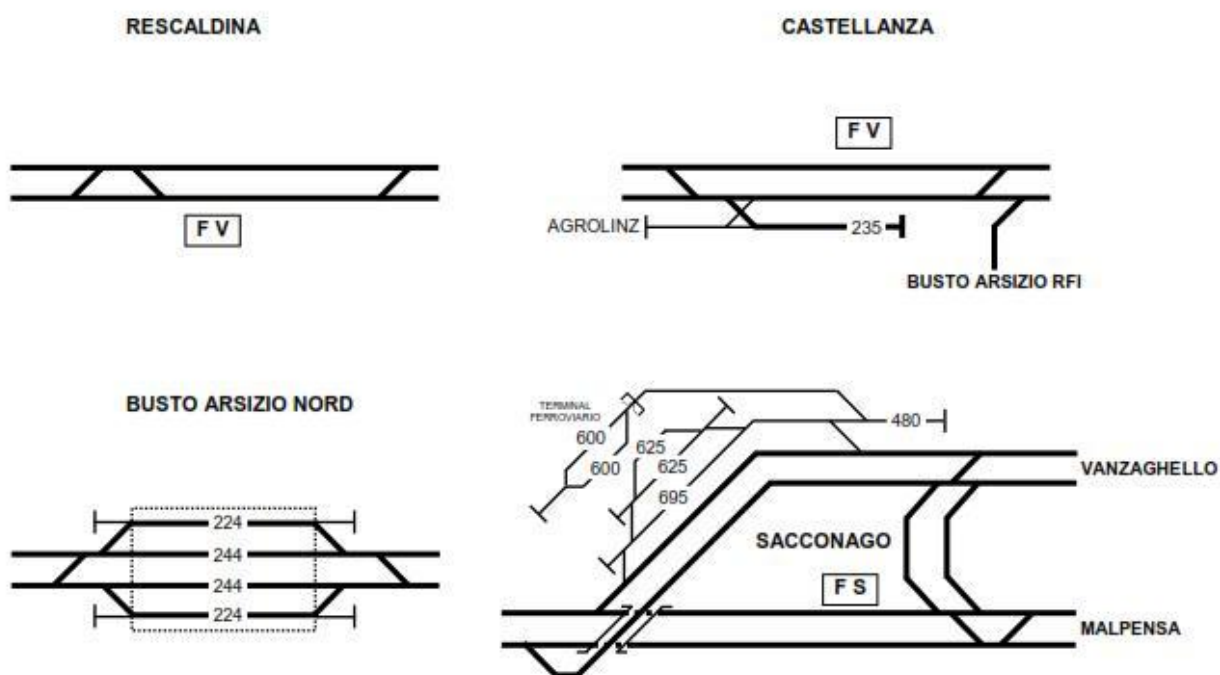


Figura 4-3: Schemi planimetrici degli impianti di Rescaldina, Castellanza, Busto Arsizio FN e del Bivio Sacconago, nella *Prefazione all'orario di servizio* di Ferrovie Nord.

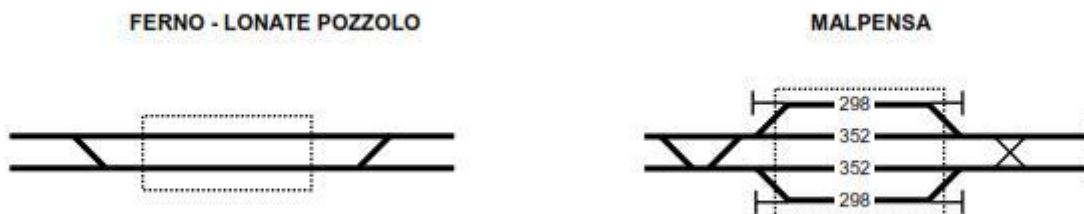


Figura 4-4: Schemi planimetrici degli impianti di Ferno Lonate Pozzolo e Malpensa Aeroporto nella *Prefazione all'orario di servizio* di Ferrovie Nord.

4.2.4.2. I servizi e le corrispondenze

Nella stazione di Busto Arsizio FN è presente un'interconnessione con la rete RFI e un interscambio con la linea suburbana S30 (Malpensa Aeroporto – Cadenazzo – Bellinzona).

La stazione di Milano Malpensa per il momento è stazione di attestamento di tutti i servizi presenti: in un futuro, infatti, è previsto il collegamento ferroviario del terminal 2 dell'aeroporto ora collegato con il T1 da un servizio di bus navetta.

I servizi ferroviari utilizzabili dalla stazione di Malpensa Aeroporto sono:

- Un servizio Espresso (MXP) senza fermate intermedie per Milano Cadorna con tempo di percorrenza di 29'.
- Servizi regionali per Milano Cadorna e Milano Centrale (R): i servizi per Milano Cadorna impiegano 36' con fermate intermedie a Busto Arsizio FN, Saronno e Milano Bovisa mentre i servizi per Milano Centrale impiegano 52' con fermate anche a Ferno Lonate Pozzolo, Castellanza, Rescaldina e Milano Porta Garibaldi.
- un servizio suburbano cadenzato (S30) per Bellinzona via Busto Arsizio FN, Busto Arsizio RFI, Gallarate, Luino, Cadenazzo con tempo di percorrenza di circa 2 h.

Nella stazione di Novara è possibile trovare corrispondenza con il servizio suburbano S6 (Novara – Milano Passante – Pioltello Limito/Treviglio); i servizi Regionali (R) per Mortara, Laveno Mombello, Domodossola, Biella San Paolo; i servizi regio express (RE) per Torino Porta Nuova, Milano Centrale, Milano Porta Garibaldi; i servizi ES*city Frecciabianca (ES*c) per Torino Porta Nuova, Milano Centrale, Brescia e le principali città del Veneto ma anche alcuni collegamenti per Trieste Centrale. Nella stazione di Novara è presente anche il servizio TGV (Parigi Gare de Lyon – Milano Porta Garibaldi) in alcuni momenti della giornata.

4.3. Regimi di circolazione dei treni

Il *regime di circolazione* è l'insieme delle procedure tecnico-operative che realizzano la sicurezza nella circolazione dei treni in linea. Attualmente su rete Ferrovie Nord sono presenti i seguenti regimi di circolazione dei treni:

- il regime del *blocco telefonico*.
- il regime del *blocco elettrico automatico*
 - *Blocco automatico a correnti fisse*
 - *Blocco automatico a correnti codificate*
 - *Blocco automatico conta assi*

4.3.1. Il regime di circolazione presente sulla linea Saronno – Malpensa Aeroporto

Sull'intera tratta da Saronno a Malpensa Aeroporto è presente il regime di *blocco elettrico automatico a correnti codificate (4 codici)*.

4.3.1.1. Il Regime del Blocco Elettrico Automatico

La linea esercitata con il blocco automatico (nella forma più elementare a correnti fisse) è interamente dotata di rotaie isolate tra loro e da terra e opportunamente connesse elettricamente; inoltre è suddivisa in sezioni di blocco protette da segnali i quali si dispongono a via impedita non appena il treno, superando il segnale di protezione disposto a via libera, impegna il circuito di binario protetto dal segnale stesso.

I circuiti elettrici di binario sono permanentemente alimentati da corrente alternata e alimentano appositi relè detti *relè di binario* che a causa di questa corrente risultano permanentemente eccitati; quando un asse di un veicolo attraversa il circuito di binario lo cortocircuita andando a diseccitare il relè a cui esso è collegato. Questo sistema consente in modo semplice e del tutto automatico di poter avere la certezza della libertà o dell'occupazione di una data sezione di blocco posta a valle di un segnale di protezione; esso però resta sensibile al comportamento del personale di macchina che, nonostante il segnale si predisponga a via impedita, potrebbe non rispettare il segnale e procedere oltre impattando inesorabilmente: si rende necessaria la ripetizione dei messaggi che la segnalamento visiva trasmette direttamente a bordo attraverso l'espedito delle correnti codificate.

Se le correnti che attraversano il circuito di binario sono variabili nel tempo, attorno alle rotaie si generano campi magnetici altrettanto variabili i quali possono essere intercettati da opportuni captatori all'interno delle locomotive; se a ogni frequenza delle correnti di binario è fatto corrispondere un preciso messaggio (per esempio il comando di via libera o di via impedita) questo può essere

decodificato dalla macchina e quindi riconosciuto dal personale di bordo che quindi ha a disposizione uno strumento di ulteriore conferma.

Nel caso particolare della Saronno – Malpensa Aeroporto, i codici che è possibile decodificare sono quattro, anche se esistono dei sistemi di ripetizione del segnale che arrivano a utilizzare fino a nove frequenze differenti.

4.4. Sistemi di esercizio

Secondo le diverse modalità di azione del personale movimento si realizzano diversi *sistemi di esercizio*; il sistema di esercizio di una linea si traduce con il tipo di organizzazione di governo della circolazione ferroviaria. Esistono, infatti, diversi sistemi di esercizio ma quelli usati attualmente sulla rete di Ferrovie Nord sono di due tipi:

- *Dirigenza ordinaria*
- *Dirigenza centrale operativa*

4.4.1. I sistemi di esercizio presenti sulla Saronno – Malpensa Aeroporto

La linea è esercitata con il sistema del Dirigente Centrale Operativo (DCO).

4.4.1.1. Il sistema del Dirigente Centrale Operativo

Il Dirigente Centrale Operativo assume personalmente la dirigenza del movimento di tutti i posti periferici della linea a lui affidata; per determinate operazioni previste in situazioni particolari si avvale della collaborazione del personale dei treni o dell'operatore che eventualmente presenzia la località di servizio. Il DCO interviene dal posto centrale (nel caso in esame ha sede nell'impianto di Busto Arsizio FN) e lo fa per la formazione degli itinerari nelle località di servizio situate nell'ambito della sua giurisdizione in telecomando.

4.5. Impianti di comunicazione terra-treno

Nei regimi di circolazione, per l'attuazione del distanziamento stesso e per la comunicazione di altre prescrizioni di marcia da terra al personale di condotta, ci si avvale degli *impianti di comunicazione terra-treno* ossia dei dispositivi che consentono la trasmissione di importanti informazioni dalla terra al treno.

Particolare rilevanza hanno i segnali fissi; sulla rete di Ferrovie Nord i principali segnali ad installazione fissa si distinguono in:

- Segnali luminosi
- Segnali di avanzamento e Indicatori di direzione
- Segnali bassi
- Segnali per la protezione propria dei passaggi a livello

4.5.1. Segnali luminosi

I segnali luminosi forniscono le indicazioni per mezzo di luci (sia di giorno che di notte), e sono costituiti da fanali speciali applicati ad uno schermo dipinto in nero contornato da un bordo bianco. I segnali ubicati in galleria non sono in genere muniti di schermo. Essi proiettano verso i treni luci di colore diverso a seconda delle indicazioni che deve fornire. Le luci colorate sono di colore rosso, giallo o verde e possono essere fisse o lampeggianti, singole o raggruppate.

I segnali luminosi possono essere distinti in:

- *segnali di protezione o di prima categoria*
- *segnali di avviso*

I segnali di prima categoria adempiono il semplice ma fondamentale compito di proteggere le singole sezioni di linea emettendo una luce cromatica rossa che comunica la via impedita; quando un segnale di prima categoria dispone luce rossa è vietato il superamento del segnale stesso. Questo segnale deve essere preceduto a una distanza pari alla distanza di arresto da un segnale di avviso che proietta una luce di colore giallo.

I segnali di prima categoria sono utilizzati per proteggere non solo le sezioni di linea ma anche piazzali di stazione, passaggi a livello, bivi o altri punti delicati della rete; a seconda della specifica funzione che assolvono possono assumere diverse denominazioni.

I segnali di regola sono installati a sinistra del binario percorso dal treno e in questo caso sono di forma rotonda, altrimenti se installati a destra lo schermo è di forma quadrata.

4.5.2. Segnalamento per cantieri

L'insediamento dei cantieri richiede un segnalamento speciale che serve per poter non solo delimitare fisicamente il cantiere ma anche indicarne il suo approssimarsi al personale di macchina. Si ritiene utile fornire una panoramica generale perché questo segnalamento fornisce implicitamente delle restrizioni alla circolazione che è stato necessario inserire all'interno del programma di simulazione per realizzare virtualmente l'interruzione.

4.5.2.1. Segnalamento per cantieri: generalità

L'installazione di un cantiere su uno dei due binari di marcia implica l'utilizzo di un segnalamento dedicata che comunichi visivamente al personale di macchina l'approssimarsi di una zona di lavoro sul binario di marcia o su quello attiguo. Se il cantiere si trova sul binario di marcia sarà necessario comunicare la marcia su binario di destra con una eventuale limitazione di velocità se la linea non è banalizzata; se invece il cantiere si troverà sul binario attiguo, a seconda delle necessità di lavoro, potrebbe essere necessaria una riduzione della velocità per tutta o per una parte della lunghezza del cantiere stesso.

4.5.2.2. Tabelle di orientamento di rallentamento notificato

Le tabelle, in numero di tre, sono dipinte con strisce orizzontali nere su fondo giallo in numero decrescente da tre a uno e sono applicate su apposite paline da disporsi ad una distanza di 50 metri tra di loro, ponendo l'ultima a 50 metri dal segnale di avviso di rallentamento.

Di notte le tabelle di orientamento non sono illuminate perché rese appariscenti dai fanali della locomotiva.

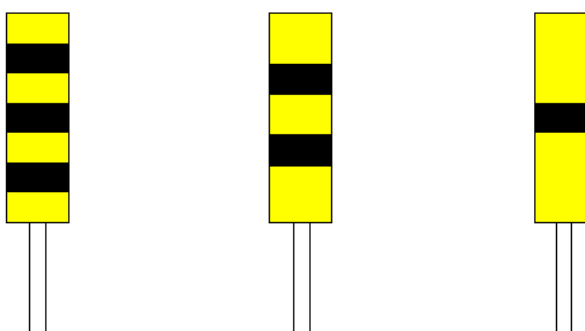


Figura 4-5: Tabelle di orientamento di rallentamento notificato.

4.5.2.3. Segnale di avviso di rallentamento

Il segnale di avviso di rallentamento è costituito da una vela a forma di esagono dipinta in giallo con contorno nero; di notte può proiettare due luci gialle abbinata in linea obliqua. Tale segnale è applicato

ad un paletto o ad altro sostegno. Il segnale di avviso che precede quello di inizio di rallentamento è inoltre munito di un apposito cartello con l'indicazione della velocità da osservarsi per il rallentamento stesso.

Il cartello è a forma rettangolare e può essere applicato sia sotto la vela sia sulla vela stessa; presenta ai treni la cifra indicativa del rallentamento in colore bianco su fondo nero. Il segnale di avviso deve precedere il segnale di inizio di rallentamento di:

- 500 metri, per le linee la cui velocità massima ammessa non è maggiore di 90 km/h;
- 1200 metri, per le linee la cui velocità massima ammessa è maggiore di 90 km/h.

Al segnale di avviso di rallentamento può essere applicata una freccia indicatrice per determinare il binario interessato al rallentamento quando tra l'avviso e l'inizio dello stesso vi è una comunicazione con l'altro binario incontrata di punta dal treno.

La freccia, di colore giallo riflettente, è verticale se il rallentamento riguarda il binario medesimo oppure orizzontale se riguarda il binario attiguo o deviato.

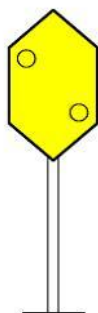


Figura 4-6: Segnale di avviso di rallentamento.



Figura 4-7: Segnali di avviso di rallentamento con freccia indicatrice del binario interessato.

4.5.2.4. Segnali di inizio e di fine di rallentamento

I segnali di rallentamento si distinguono in segnali di inizio e segnali di fine di rallentamento. Il segnale di inizio di rallentamento, che va collocato all'inizio del tratto da percorrere a velocità ridotta, è costituito da una vela di forma rettangolare dipinta in giallo con bordo nero; di notte può proiettare due luci gialle abbinate, in linea orizzontale.

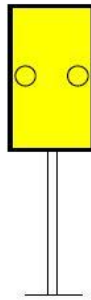


Figura 4-8: Segnale di inizio rallentamento.

Il segnale di fine di rallentamento è costituito da una vela rettangolare dipinta in verde con bordo bianco notte può proiettare una luce verde.

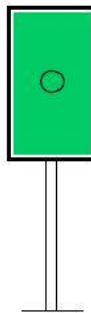


Figura 4-9: Segnale di fine rallentamento.

4.5.2.5. Segnalazione per rallentamento notificato

4.5.2.5.1. Rallentamento interessante un solo binario

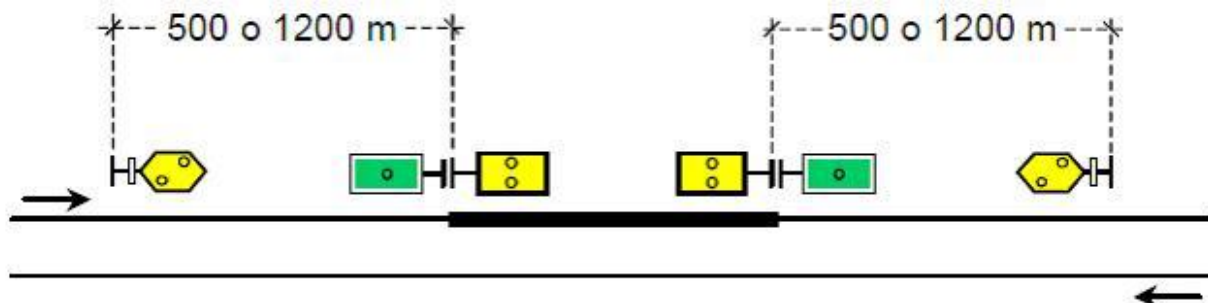


Figura 4-10: Disposizione del segnalamento in caso di un rallentamento interessante un solo binario.

4.5.2.5.2. Rallentamento interessante ambedue i binari

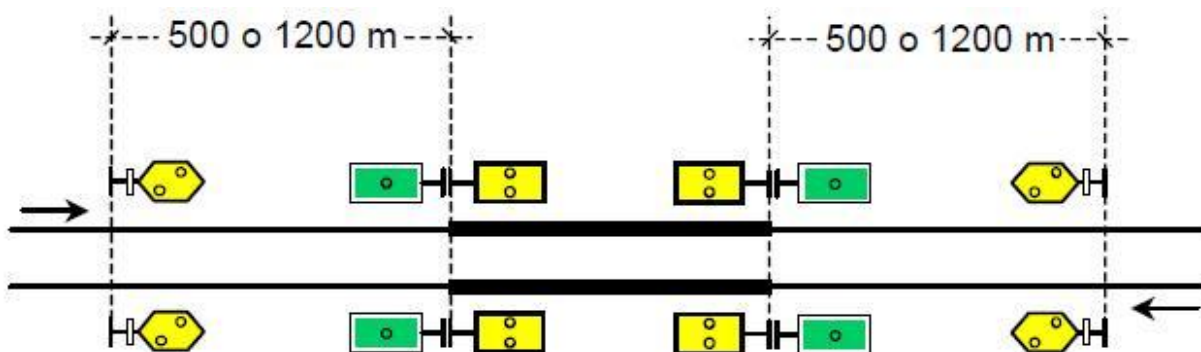


Figura 4-11: Disposizione del segnalamento in caso di un rallentamento interessante ambedue i binari.

4.5.2.5.3. Comunicazione ubicata tra il segnale di avviso ed il segnale di inizio di rallentamento

Quando nel tratto compreso tra il segnale di avviso e quello di inizio di rallentamento è ubicata una comunicazione che consenta di inoltrare sul binario soggetto a rallentamento i treni provenienti anche dall'altro binario, il segnale di avviso deve essere esposto su entrambi i binari.

In tal caso, se il segnale di avviso posto su un binario si riferisce ad un rallentamento interessante soltanto il binario medesimo, esso deve essere integrato con una freccia verticale, a vernice gialla riflettente, orientata verso l'alto.

Se invece il segnale di avviso posto su un binario si riferisce ad un rallentamento interessante soltanto il binario attiguo, esso deve essere integrato con una freccia orizzontale, a vernice gialla riflettente, orientata verso quest'ultimo binario; il segnale di avviso deve essere ubicato a valle del segnale luminoso di avviso che fornisce l'indicazione di itinerario deviato.

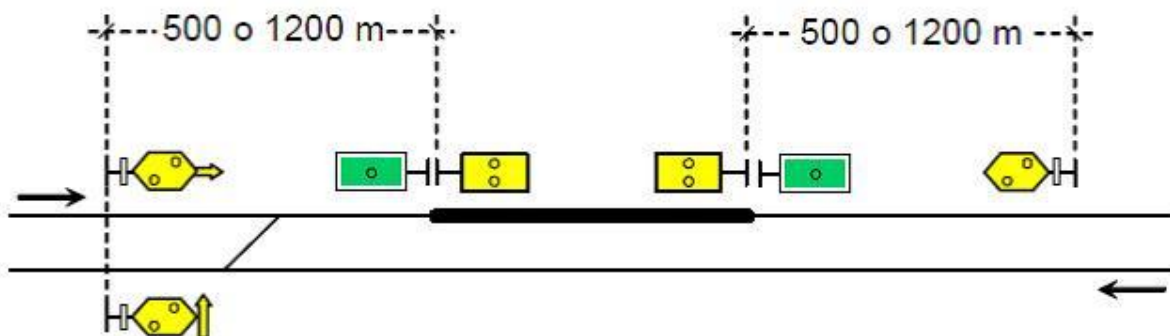


Figura 4-12: Disposizione della segnalamento in caso di un rallentamento interessante un solo binario nel caso di comunicazione ubicata tra il segnale di avviso e quello di inizio del rallentamento.

4.5.2.5.4. Deviatoio ubicato tra il segnale di inizio ed il segnale di fine di rallentamento

Per i rallentamenti che comprendono un deviatoio e che quindi sono impegnati da alcuni treni solo per il tratto che inizia in corrispondenza del deviatoio stesso, deve essere previsto un secondo segnale di inizio di rallentamento ubicato all'altezza del deviatoio medesimo, a lato del binario interessato dal rallentamento.

Pertanto, quando il rallentamento comprende una comunicazione fra un binario e l'altro, i treni provenienti dal binario interessato dal rallentamento incontreranno un secondo segnale di inizio di rallentamento che per essi significa il proseguimento del rallentamento stesso.

Non è previsto un segnale di fine di rallentamento per i treni che, inoltrati da un binario all'altro, lasciano all'altezza del deviatoio il binario soggetto a rallentamento; in tal caso, il macchinista deve considerare come punto di fine del rallentamento la traversa limite del deviatoio che determina l'immissione del treno sul binario attiguo.

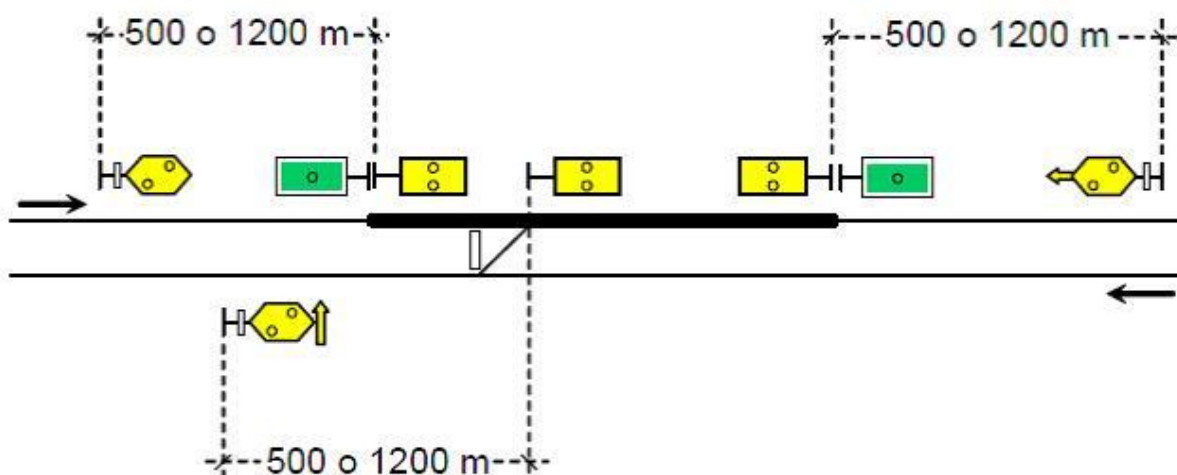


Figura 4-13: Disposizione della segnalamento in caso di un rallentamento interessante un solo binario nel caso di comunicazione ubicata tra il segnale di inizio e quello di fine del rallentamento.

4.5.2.5.5. Rallentamenti interessanti ambedue i binari, per i quali tra i segnali di avviso e quelli di inizio di rallentamento, o tra i segnali di inizio e quelli di fine di rallentamento, ricada una comunicazione

Se i rallentamenti interessano ambedue i binari e vi sono delle comunicazioni compresi fra i segnali allora i rallentamenti devono avere identiche caratteristiche di estensione e velocità. Per la segnalazione devono essere utilizzati i segnali di avviso senza sussidio di frecce.

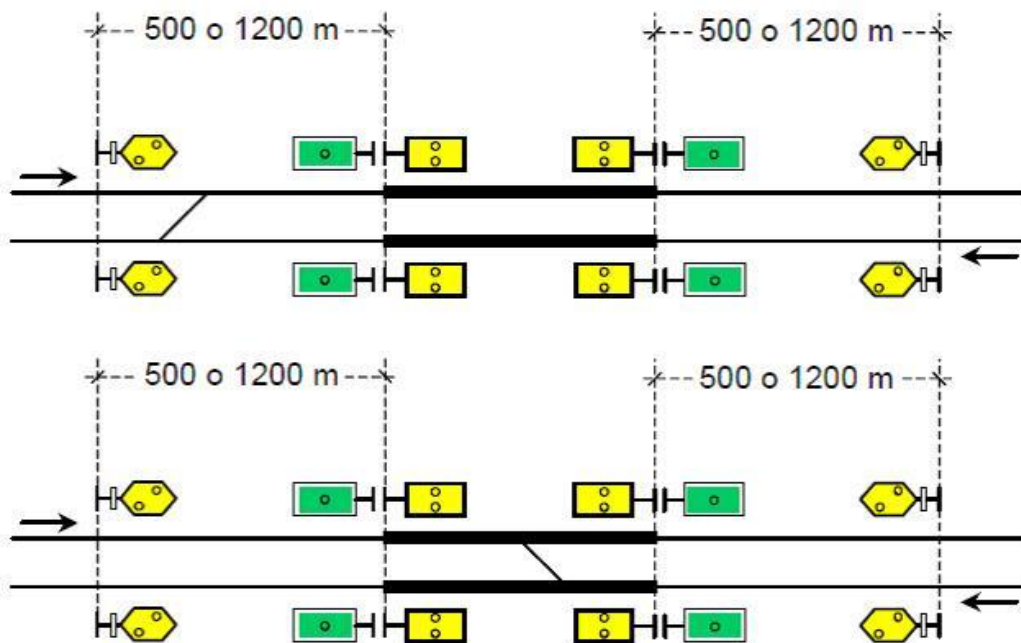


Figura 4-14: In alto: disposizione della segnalamento in caso di un rallentamento interessante ambedue i binari nel caso di comunicazione ubicata tra il segnale di avviso e quello di inizio del rallentamento. In basso: disposizione della segnalamento in caso di rallentamento interessante ambedue i binari nel caso di comunicazione ubicata tra il segnale di inizio e quello di fine del rallentamento.

4.5.2.5.6. Deviatoio di bivio ubicato tra il segnale di avviso e quello di inizio di rallentamento

Quando nel tratto compreso tra il segnale di avviso e quello di inizio di rallentamento è ubicato un deviatoio di bivio incontrato di punta dai treni, il segnale di avviso di rallentamento deve essere integrato da una freccia verticale, a vernice gialla riflettente, se il rallentamento interessa il binario di corretto tracciato.

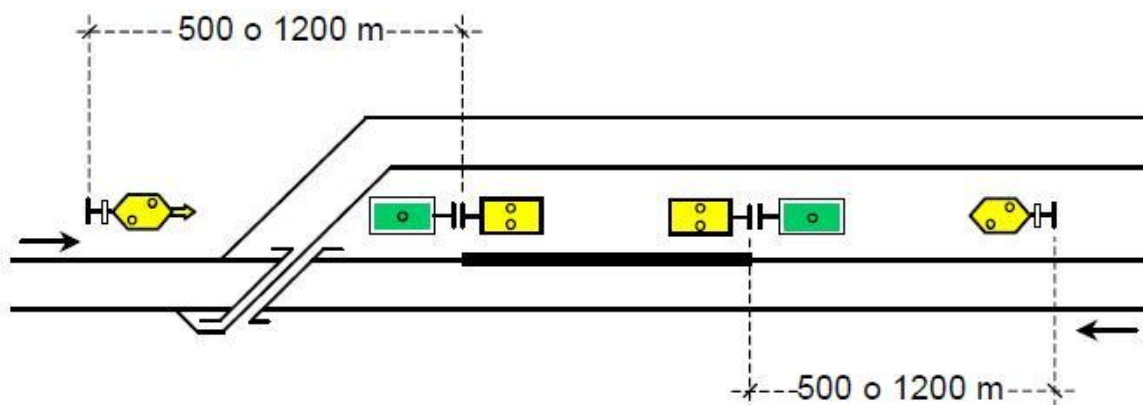


Figura 4-15: Disposizione della segnalamento in caso di un rallentamento interessante il binario di corretto tracciato nel caso di deviatoio di bivio ubicato tra il segnale di avviso e quello di inizio del rallentamento.

Se invece il rallentamento interessa il binario deviato, il segnale di avviso di rallentamento deve essere sussidiato da una freccia orizzontale, a vernice gialla riflettente, orientata nel senso corrispondente a quello del ramo deviato.

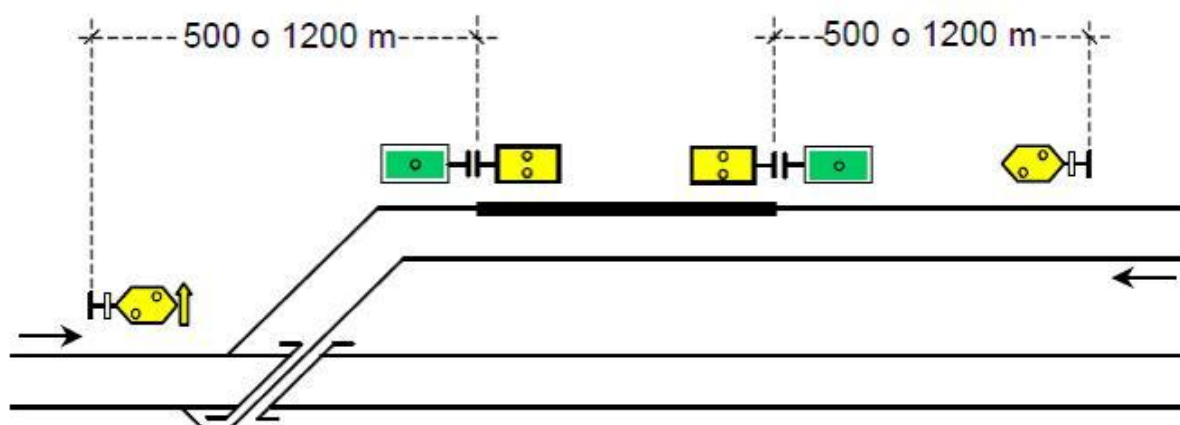


Figura 4-16: Disposizione della segnalamento in caso di un rallentamento interessante il binario deviato nel caso di deviatoio di bivio ubicato tra il segnale di avviso e quello di inizio del rallentamento.

4.5.2.6. Segnali per cantieri e squadre di lavoro

In corrispondenza delle zone dove si svolgono lavori interessanti la linea, devono essere collocati, lungo la stessa apposti segnali costituiti da tabelle rettangolari aventi le seguenti fogge:

- Tabella per cantiere di lavoro, a fondo nero con lettera «C» dipinta in bianco su una delle facce da porsi:
 - a 500 metri, prima dell'inizio del cantiere, se la velocità massima ammessa dalla linea non è maggiore di 90 km/h;
 - a 1200 metri, prima dell'inizio del cantiere, se la velocità massima ammessa dalla linea è maggiore di 90 km/h.



Figura 4-17: Cartello indicante l'inizio del cantiere.

- Tabella per fine cantiere di lavoro, a fondo bianco con lettera «C» dipinta in nero su una delle due facce da porsi nel punto dove termina la zona di lavoro.



Figura 4-18: Cartello indicante la fine del cantiere.

Quando il cantiere di lavoro è composto da un unico gruppo di operai concentrato in un breve tratto di linea, in luogo della tabella per cantiere di lavoro di cui sopra, deve essere collocato un segnale costituito da una tabella a fondo nero con lettera «S» dipinta in bianco su una delle due facce.

Tale segnale verrà collocato alla stessa distanza stabilita per la tabella per cantiere di lavoro e non deve essere seguito da alcun altro segnale per indicare la fine del cantiere.



Figura 4-19: Cartello che segnala la presenza lungo la linea di una squadra di operai concentrata in un breve tratto di linea.

Le tabelle «C», «C» e «S» di cui sopra non sono illuminate nelle ore in cui è prevista l'illuminazione notturna ma sono rese appariscenti con mezzi riflettenti.

Le tabelle «C», «C» e «S» devono essere collocate a cura del personale addetto al cantiere di lavoro con la faccia portante la lettera rivolta verso la provenienza dei treni e devono restare esposte per tutto il periodo di permanenza del cantiere e rimosse immediatamente dopo l'ultimazione dei lavori, evitando che i treni le trovino esposte quando non necessario.

Avvicinandosi alle zone di lavoro segnalate dalla tabella «C» oppure «S», nonché nel percorrere le zone stesse, i macchinisti devono prestare particolare attenzione alla linea ed emettere un fischio moderatamente prolungato, ripetendolo quando occorra.

4.5.2.6.1. Lavori interessanti un solo binario

Se i lavori interessano un solo binario deve essere collocata una tabella «C» (o «S») per ciascuna delle possibili provenienze dei treni.

Quando il cantiere opera su di un solo binario, a lato del binario attiguo, fra 200 e 400 metri in precedenza all'inizio del tratto di lavoro, si deve esporre una tabella «F» per ciascuna delle possibili provenienze dei treni.

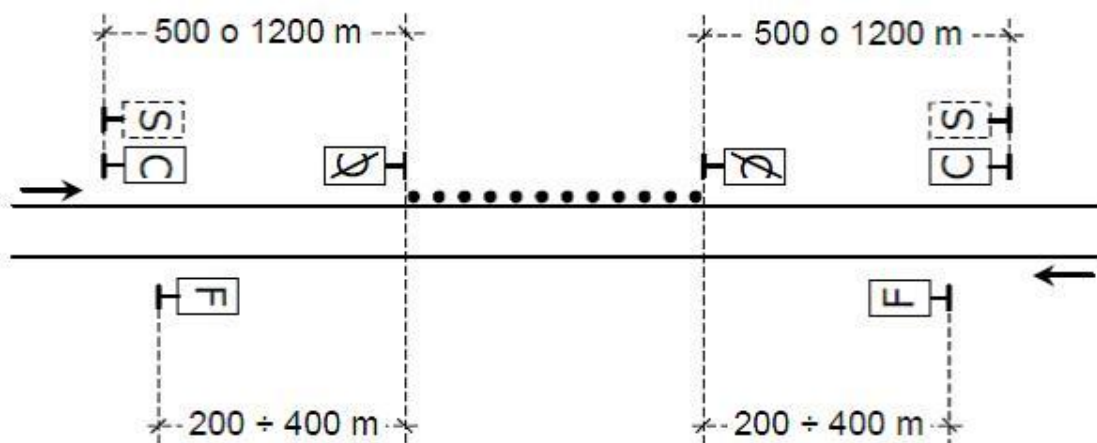


Figura 4-20: Disposizione dei cartelli di cantiere quando i lavori interessano un solo binario.

4.5.2.6.2. Lavori interessanti ambedue i binari

Se i lavori interessano entrambi i binari devono essere collocate due tabelle «C» (o «S») per ciascuna delle possibili provenienze dei treni.

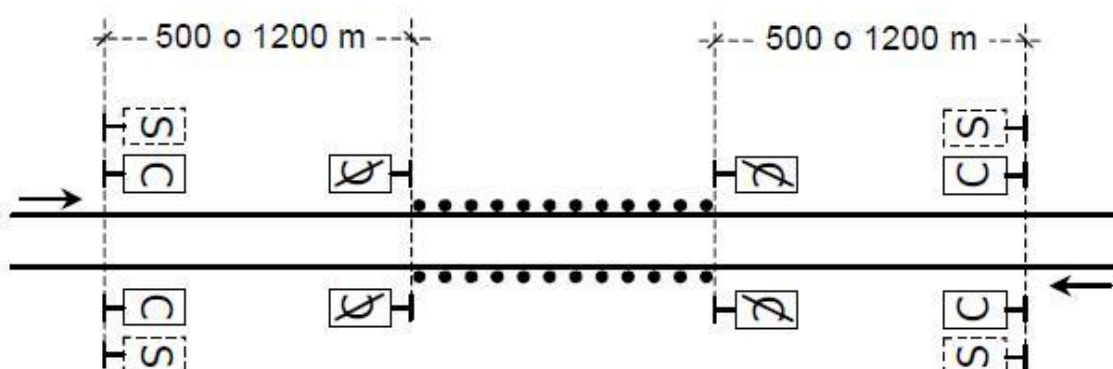


Figura 4-21: Disposizione dei cartelli di cantiere quando i lavori interessano ambedue i binari.

4.5.2.6.3. Lavori in corrispondenza di una comunicazione

Quando nel tratto compreso tra le tabelle «C» (o «S») e l'inizio della zona occupata dal cantiere è ubicata una comunicazione che consenta di inoltrare sul binario in lavorazione i treni provenienti dal binario attiguo, le tabelle «C» (o «S») devono essere esposte su entrambi i binari. In tal caso, le suddette tabelle devono recare una freccia, a vernice gialla riflettente, opportunamente orientata (verticale o orizzontale), al fine di indicare al macchinista quale sia il binario occupato dal cantiere.

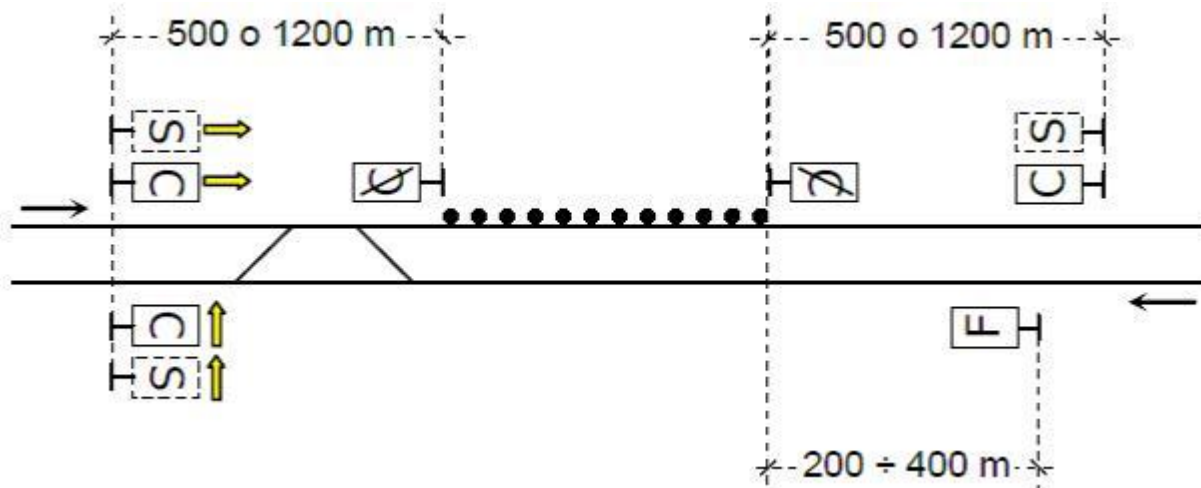


Figura 4-22: Disposizione dei cartelli di cantiere quando i lavori si svolgono su un binario in prossimità di una comunicazione.

Non è prevista la tabella «C» per i treni che, inoltrati da un binario all'altro, lasciano, all'altezza del deviatoio, il binario interessato dal cantiere.

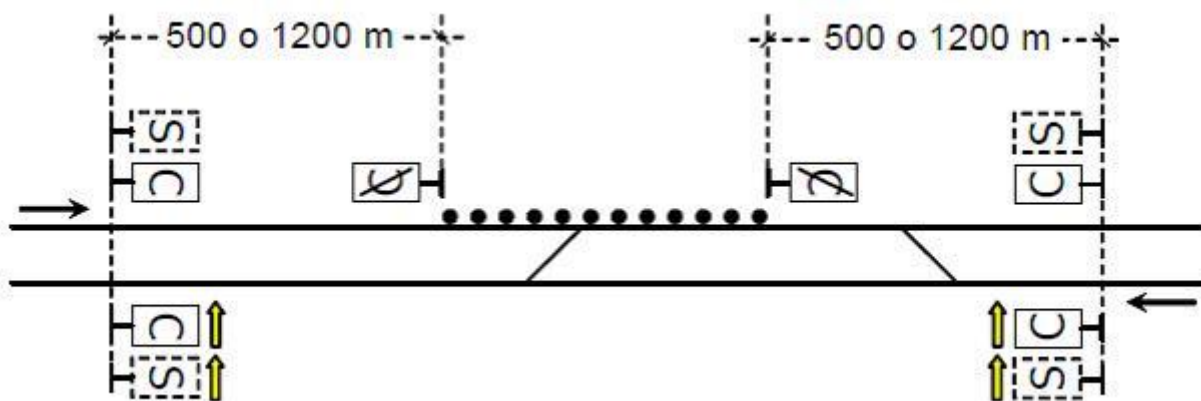


Figura 4-23: Disposizione dei cartelli di cantiere quando i lavori si svolgono su un binario in corrispondenza di una comunicazione.

Quando il cantiere occupa entrambi i binari le tabelle «C» (o «S») devono essere esposte, per entrambi i binari e per ciascun senso di circolazione, senza sussidio di frecce.

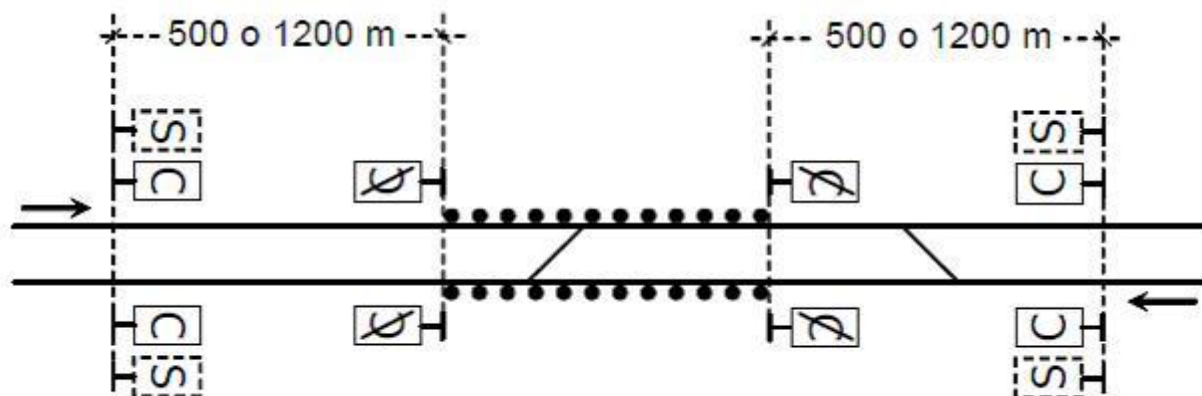


Figura 4-24: Disposizione dei cartelli di cantiere quando i lavori si svolgono su ambo i binari in corrispondenza di una comunicazione.

4.6. Impianti di ripetizione dei segnali a bordo

Con l'aumento della velocità da parte dei convogli ferroviari si è resa necessaria anche la ripetizione delle informazioni anche in macchina in modo da evitare che a causa della velocità il personale possa percepire con poca chiarezza le disposizioni luminose presenti lungo la linea; gli impianti di ripetizione di segnali a bordo intervengono anche attivando la frenatura di emergenza del treno in caso di mancato rispetto della disposizione di via impedita.

I sistemi di ripetizione della segnalamento a bordo consentono di ottenere una sicurezza completa perché replicano nella cabina di guida l'aspetto del segnalamento fisso; essi intervengono azionando la frenatura di emergenza nel caso in cui il personale di condotta dei treni non rispetti le disposizioni restrittive imposte dai segnali.

Sulla rete di Ferrovie Nord è possibile trovare:

- Ripetizione continua induttiva a quattro codici
- Ripetizione discontinua: Sistema di Controllo della Marcia dei Treni

4.6.1. Gli impianti di ripetizione dei segnali presenti sulla Saronno – Malpensa Aeroporto

Sull'intera tratta da Saronno a Malpensa Aeroporto è presente sia il Sistema di Controllo Marcia Treno (SCMT) che la ripetizione del segnale a bordo del treno attraverso le correnti codificate (4 codici) del blocco elettrico automatico a correnti codificate.

4.6.1.1. Il Sistema di Controllo Marcia del Treno

Il Sistema di Controllo Marcia del Treno è un sistema di sicurezza che attua la protezione della marcia dei treni istante per istante, rispetto alle condizioni imposte dai segnali, alla velocità massima consentita dalla linea in condizioni normali e di degrado e alla velocità massima consentita dal materiale rotabile; in caso di necessità esso attiva la frenatura di emergenza in caso di superamento dei limiti di controllo.

Il sistema SCMT si compone di un *sottosistema di terra* e un *sottosistema di bordo* strettamente integrati: il *sottosistema di terra* è costituito da una serie di *punti informativi* che si al passaggio di un treno inviano informazioni al suo *sottosistema di bordo* che, sulla base dei parametri del treno introdotti all'inizio della corsa, determina i limiti e le curve di velocità che consentono una marcia del treno in condizioni di sicurezza.



Figura 4-25: Il sottosistema di terra del SCMT.



Figura 4-26: Esempio di schermata del sottosistema di bordo del SCMT.

4.7. Apparati centrali

Ormai sempre più spesso l'esecuzione delle operazioni concernenti il movimento dei treni nelle stazioni può essere demandata al personale addetto oppure ad *apparati centrali* i quali sono intermediari fra il personale e gli impianti stessi; gli apparati centrali eseguono più o meno automaticamente le manovre e le relative verifiche.

Le località servite dalla linea Saronno – Malpensa Aeroporto dispongono di un Apparato Centrale Elettrico a Itinerari ACEI.

4.7.1.1. L'apparato Centrale Elettrico a Itinerari

Un apparato centrale è generalmente composto dai seguenti elementi:

- *Banco di manovra* ossia il banco sul quale l'operatore interviene per compiere le azioni di comando sull'impianto; al suo interno trovano posto le eventuali serrature meccaniche che agiscono direttamente sulle leve.
- *Quadro luminoso* che rappresenta il piano schematico di stazione e riproduce costantemente l'aspetto dei segnali e lo stato d'impegno, liberazione o occupazione dei binari.
- *Armadio o sala relè*: è l'unità che realizza i collegamenti elettrici tra il banco e gli enti di piazzale nel rispetto della logica della sicurezza.
- *Orologi registratori di eventi*: sono dispositivi che memorizzano lo stato di particolari enti, aspetto di segnali e circuiti di binario lasciandone traccia su carta per eventuali accertamenti in caso d'incidente o malfunzionamento.
- *Centralina di alimentazione*: provvede all'alimentazione elettrica dell'apparato e dei dispositivi.

In questi apparati la formazione dell'itinerario avviene agendo su un apposito pulsante, uno per ciascun itinerario previsto dall'impianto, e si completa attuando in maniera del tutto automatica le manovre degli enti, deviatori, segnali e la verifica delle condizioni di sicurezza (effettuata da circuiti elettrici a relè).

Il comando per la formazione dell'itinerario rimane uno soltanto e si fornisce azionando l'apposito pulsante sul banco di comando: il sistema procede alle verifiche degli enti e alla predisposizione dei segnali.

L'itinerario rimane bloccato, ossia gli enti coinvolti non possono essere utilizzati per altri itinerari finché non interviene la liberazione dell'itinerario operata dal treno in transito che può avvenire secondo due modalità:

- *Liberazione rigida*: gli enti partecipanti all'itinerario possono essere utilizzati solamente quando l'itinerario è stato completamente liberato nella sua totalità.
- *Liberazione elastica*: gli enti vengono liberati progressivamente al passaggio del treno e possono essere utilizzati per la formazione di nuovi itinerari.

Generalmente gli impianti più moderni funzionano attraverso la liberazione elastica.



Figura 4-27: Esempio di un impianto ACEI.



Figura 4-28: Particolare di un impianto ACEI: il quadro luminoso.

5. Simulazione della circolazione

La ricerca degli spazi temporali diurni da dedicare alle lavorazioni e la definizione degli effetti delle interruzioni per la manutenzione sono problemi la cui risoluzione è stata da sempre affidata all'esperienza del personale. Il crescente traffico ferroviario e l'aumento del numero dei passeggeri rendono però più delicate le installazioni dei cantieri, pertanto le aziende ferroviarie hanno sempre più necessità di avere dei software da utilizzare in qualità di supporto decisionale al fine di compiere scelte più consapevoli.

Fra i più affidabili programmi di simulazione ferroviaria presenti sul mercato si è fatto uso di *OpenTrack* che è uno dei più apprezzati; in questo capitolo si è ritenuto opportuno illustrare le funzionalità principali del programma che hanno permesso lo svolgimento dell'elaborato in esame.

5.1. Introduzione al software *OpenTrack*

OpenTrack è stato sviluppato a partire dalla seconda metà degli anni '90 come progetto di ricerca al Politecnico Federale di Zurigo in Svizzera con lo scopo di creare uno strumento di facile utilizzo in grado di simulare la circolazione ferroviaria; l'esigenza era chiara: si voleva uno strumento che supportasse le decisioni da prendere in merito al tema della circolazione.

Il programma di simulazione *OpenTrack* è oggi utilizzato da società ferroviarie, industrie e università in molti Paesi proponendosi come una vera innovazione e di supporto alle decisioni, spesso come fattore decisivo per portare a termine numerosi obiettivi quali: la pianificazione delle caratteristiche delle infrastrutture future, l'analisi della capacità di linee e nodi della rete ferroviaria, gli studi sul materiale rotabile, la costruzione e la validazione degli orari ferroviari, l'analisi diversi sistemi di segnalamento, la valutazione degli effetti di guasti (ad esempio all'infrastruttura o ai treni) e ritardi, il calcolo del consumo di energia dei treni e la simulazione delle reti sia tramviarie sia metropolitane.

Il funzionamento del programma è schematizzabile attraverso il prospetto seguente: *OpenTrack* necessita di alcuni dati in ingresso come quelli dell'infrastruttura, del materiale rotabile con il quale sono composti i treni e dell'orario di servizio, e esso simula la circolazione sulla base dei precedenti dati e restituisce diagrammi, grafici dei treni, le singole occupazioni di binario ma anche statistiche importanti per restituire un'analisi a posteriori come dati in uscita.

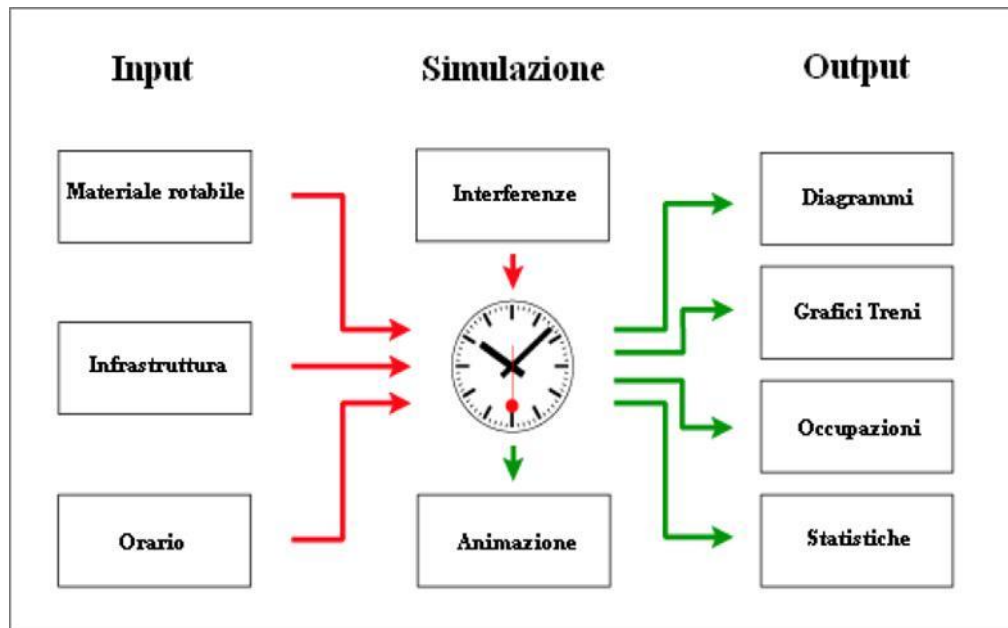


Figura 5-1: Rappresentazione schematica dei dati di input e output del programma *OpenTrack*.

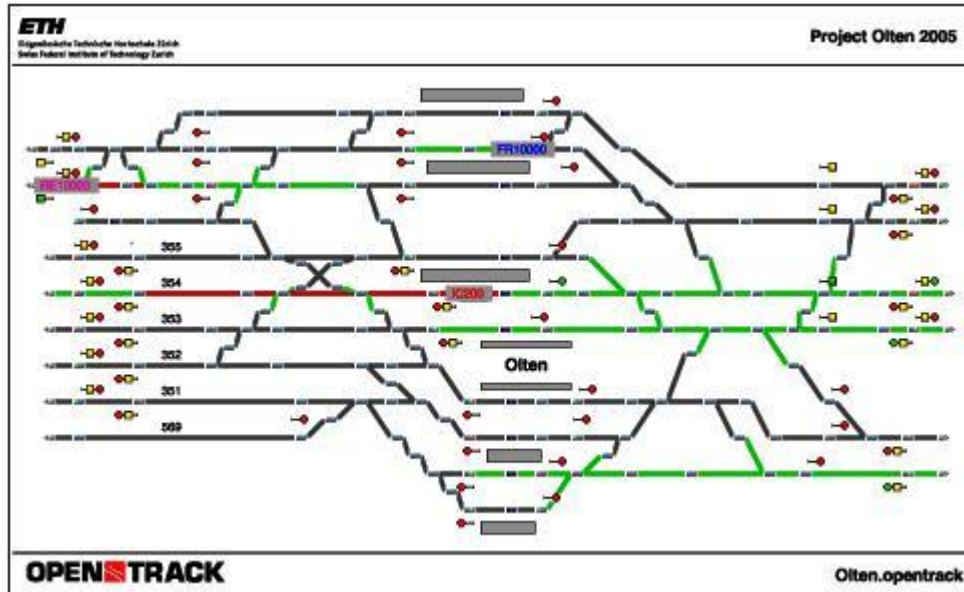
5.2. Dati in ingresso

5.2.1. L'infrastruttura

Come detto in precedenza, *OpenTrack* necessita di avere un'infrastruttura di riferimento sulla quale rappresentare la circolazione.

OpenTrack rappresenta le reti ferroviarie mediante un tipo di grafo che schematizza l'infrastruttura attraverso tratte di linea collegate da elementi virtuali come i vertici: pertanto la rete è composta di una serie di doppi vertici che rappresentano dei punti importanti dell'infrastruttura collegati mediante archi in modo da costituire uno schema planimetrico dei binari.

L'infrastruttura si completa attraverso la disposizione di segnali, stazioni, fermate e impianti di ricovero ma anche attraverso l'assegnazione ai tratti di rete di caratteristiche importanti: infatti è possibile assegnare informazioni specifiche ai vari elementi in precedenza citati: per esempio è possibile assegnare la lunghezza, la pendenza o la velocità massima per i diversi ranghi a un tratto di linea ma è anche possibile assegnare un nome, una chilometrica rispetto a un punto di riferimento a un vertice. Più informazioni vengono assegnate, tanto più il programma riuscirà a riprodurre fedelmente l'infrastruttura ferroviaria fino ai minimi dettagli.

Figura 5-2: Esempio di stazione rappresentata in *OpenTrack*.

5.2.2. Il Materiale rotabile

In seguito è necessario definire quale tipo di convogli circolerà sull'infrastruttura appena definita.

Il materiale rotabile è composto di mezzi di trazione (tipicamente le motrici) e le carrozze che sono combinate fra loro per costituire il treno nel suo assetto completo.

OpenTrack utilizza i dati tecnici di ogni locomotiva e treno prendendoli in uno specifico database nel quale le locomotive sono descritte attraverso le proprie caratteristiche tecniche come il diagramma di sforzo di trazione/velocità, la massa, la lunghezza e il peso aderente. Le locomotive presenti di default all'interno del database possono non essere sufficienti allo scopo della simulazione e quindi l'utente può creare ex novo le motrici con diverse caratteristiche; le loro caratteristiche sono fondamentali perché influenzano direttamente la marcia del treno.

Per la simulazione non è necessaria una definizione nel dettaglio del materiale rotabile delle carrozze rimorchiate perché è sufficiente conoscere la lunghezza del treno in composizione completa e le caratteristiche già definite per la locomotiva trainante: il programma quindi modella treni creati selezionando uno o più mezzi di trazione dal database locomotive combinandoli con i dati di lunghezza e di peso che servono a modellare le rimorchiate nella simulazione.

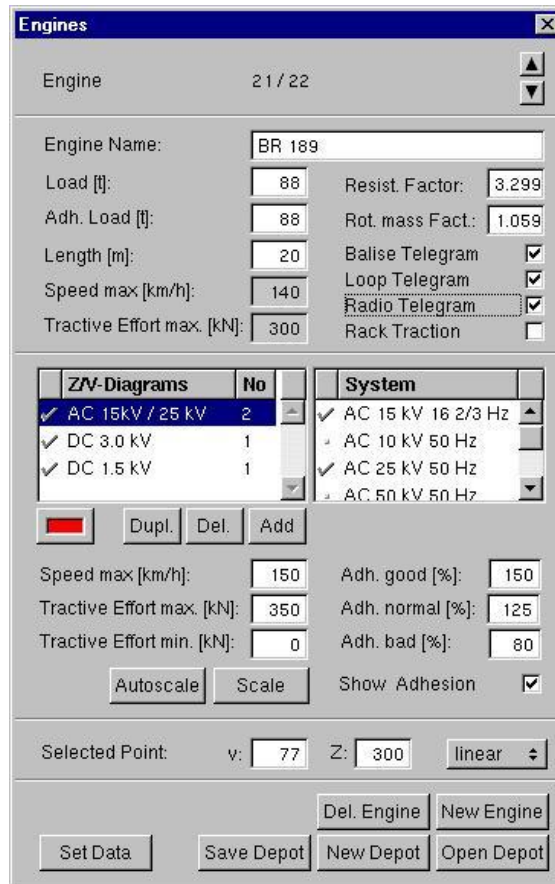


Figura 5-3: Tendina di *OpenTrack* mostrante tutti i dati associati ad una determinata motrice.

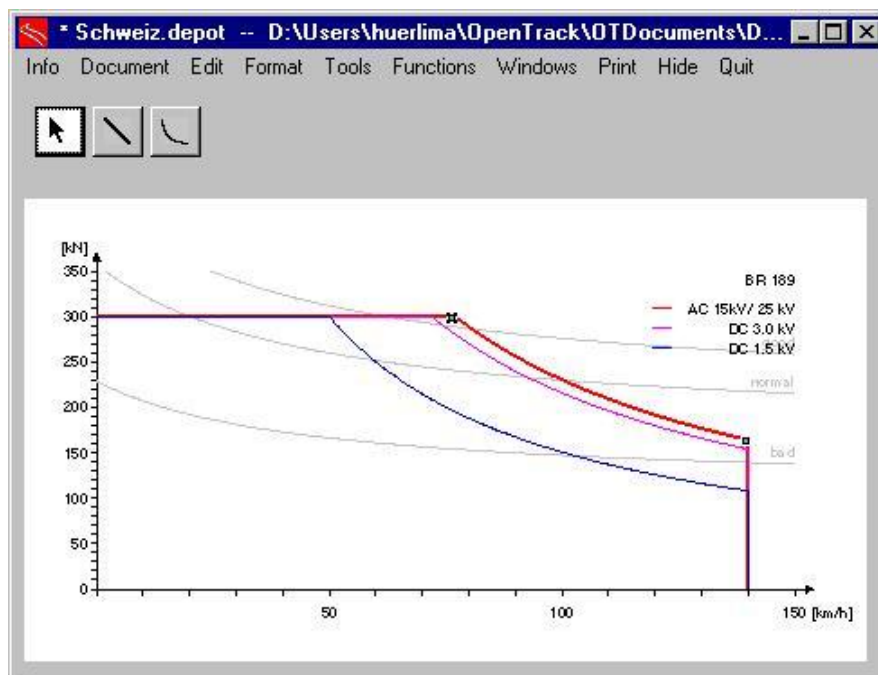


Figura 5-4: Diagramma di trazione inerente ad una determinata motrice variante secondo il tipo di alimentazione.

5.2.3. L'Orario di servizio

Una volta definito il materiale rotabile con cui viene effettuata la corsa, essa necessita anche di un orario di servizio: per ogni corsa il programma si specificano orari di arrivo e partenza nelle località di servizio, i secondi di attesa minimi necessari per il servizio viaggiatori ed eventuali coincidenze con altri servizi.

Attraverso la definizione dell'orario di servizio il programma costruisce il *traingraf* disegnando in automatico l'orario grafico attraverso una linea tratteggiata in un sistema di assi tempo-spazio; durante la simulazione, a seconda della performance scelta e delle caratteristiche delle locomotive assegnate, verrà disegnata la traccia reale mantenuta dal treno attraverso una linea continua; questo permette di visualizzare sia la traccia oraria pianificata (con linea tratteggiata) sia quella realmente "performata" dal treno (con linea continua).

The screenshot shows the 'Timetable' window with the following data:

Course ID	Station	Arrival	Departure	Wait	Stop		
RE 10001	STATV	HH:MM:SS	HH:MM:SS	08:19:30	08:19:30	0	
RE 10001	STATU	HH:MM:SS	08:24:25	08:25:50	08:26:35	130	✓
RE 10001	STATT	HH:MM:SS	08:29:50	08:31:20	08:32:10	140	✓
RE 10001	STATY	HH:MM:SS	HH:MM:SS	08:34:30	08:35:00	0	
RE 10001	STATZ	08:39:10	08:40:05	HH:MM:SS	HH:MM:SS	30	✓

Below the main table, there is a section for 'Connections at selected Station' with a table:

Course ID	Min. Wait	Max. Wait	Join	Split
RE20002	00:07:00	HH:MM:SS		

The interface also includes configuration options for 'Interval' (Course ID: +2, Delta Time: 01:00:00), 'Keep Interval References' (checked), 'Update Service List' (checked), and 'Train' details (Actual Course ID: RE10001, Ref. Course ID: , Train: S-Bahn einteilig, Train Speedtype: Reihe R, Train Category: Category 2). At the bottom, there are buttons for 'Delete', 'Update', 'Save DB', 'Move', 'Sort', 'Show All', and 'Show'.

Figura 5-5: Esempio di tendina di orario di servizio per una determinata corsa.

3 ottobre 2013

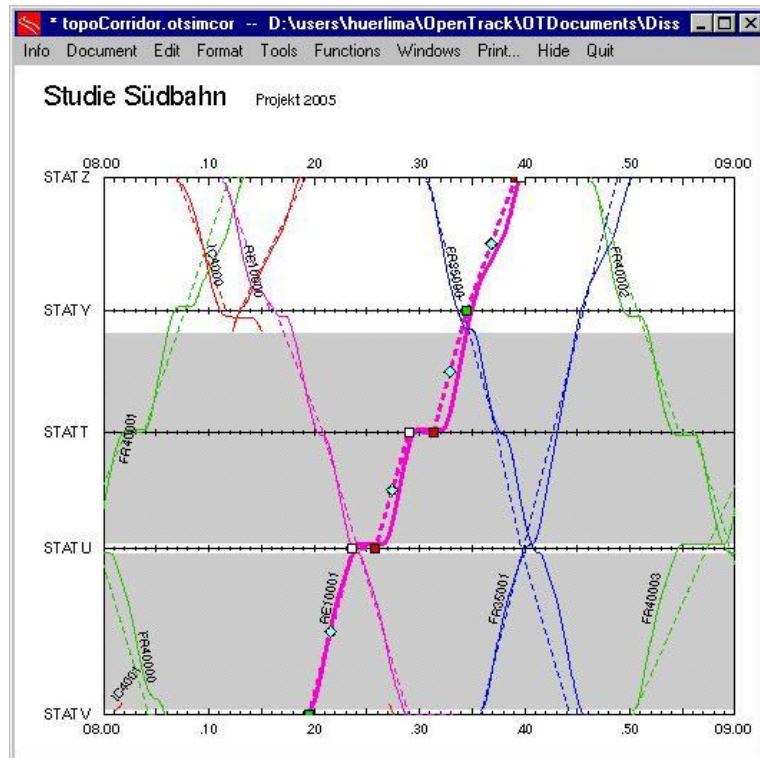


Grafico 5-1: Esempio di orario grafico: in evidenza quello programmato e quello simulato.

5.3. Simulazione e dati in uscita

Durante la simulazione il moto di treni è ricostruito attraverso la soluzione dell'equazione di moto differenziale combinata con le informazioni provenienti dai segnali: questo realizza quindi un modello continuo-discreto. L'equazione di moto differenziale governa il moto dei treni esprimendone matematicamente la loro accelerazione. La velocità del treno è ottenuta dall'integrazione dell'accelerazione così calcolata sulla distanza coperta.

La ricostruzione del moto del treno attraverso l'integrazione dell'equazione rappresenta la caratteristica continua del modello stesso.

La circolazione dei treni però è governata anche dal funzionamento dei segnali oltre che dalle caratteristiche di linea e ne è influenzata dall'aspetto restrittivo dei segnali o dalle occupazioni delle sezioni che causano perditempo nel cambiamento dell'aspetto dei segnali. I segnali e le occupazioni agiscono però in modo discontinuo sulla circolazione fornendo l'aspetto discreto del modello di simulazione.

Durante la simulazione, i treni tentano di rispettare l'orario pianificato; pertanto, per rappresentare la dinamica di ciascun treno, *OpenTrack* ne risolve l'equazione differenziale del moto rispettando i vincoli posti dal sistema di distanziamento e dai segnali; mentre le sezioni di blocco occupate e aspetti restrittivi dei segnali rallentano o fermano i treni.

La velocità, l'accelerazione, la posizione, il consumo di energia e molti altri dati di ogni treno sono memorizzati a ogni istante di simulazione su specifici file, per essere analizzati al termine della simulazione.

La simulazione può essere eseguita in *tempo reale*, mediante un'animazione che mostra il movimento dei treni lungo la rete, le corrispondenti occupazioni dell'infrastruttura e gli aspetti dei segnali; qualora l'utente avesse particolari esigenze è possibile andare a velocizzare la simulazione accelerando lo scorrimento del tempo virtuale fino a sessanta volte la velocità di scorrimento nella realtà. *OpenTrack* consente di analizzare e visualizzare i risultati della simulazione sotto forma di diagrammi, orari grafici e statistiche.

Durante la simulazione il programma genera dei messaggi che aiutano l'utente a capire quali sono le principali problematiche legate alla circolazione che si sono verificate durante la simulazione stessa.

5.3.1. Disturbi della circolazione

Il programma permette all'utente di esaminare l'impatto di disturbi della rete (chiamati *incidents*) sulla circolazione ferroviaria. I disturbi possono essere di diversa natura generalmente di due tipi: i primi includono guasti ai segnali o linea interrotta e questo implica una non risposta di alcuni elementi dell'infrastruttura; i secondi includono la lenta corsa o perturbazioni alla circolazione e questo implica operazioni di circolazione permesse ma a velocità ridotta.

Questa funzione è di particolare rilevanza perché è quella utilizzata per riprodurre nella simulazione l'effetto delle interruzioni parziali di binario: rendere fuori servizio un tratto di linea (linea interrotta) in un certo periodo di tempo.

5.3.2. Train Graf (Diagramma grafico treno)

Il programma, come già accennato in precedenza, permette all'utente di poter usufruire di elaborazioni di marcia del treno nella forma di orario-grafico del treno (*traingraf*). Una volta definito il timetable delle corse, esse sono riportate tratteggiate sulla pagina del *traingraf*; durante la simulazione saranno disegnate invece le tracce con un tratto continuo; questo rende evidente all'utente la differenza fra la traccia teorica da orario e quella simulata permettendo così un più agevole riconoscimento delle problematiche avvenute durante la simulazione.

Il *traingraf* è uno strumento interessante perché permette di modificare direttamente i dati di orario dallo stesso.

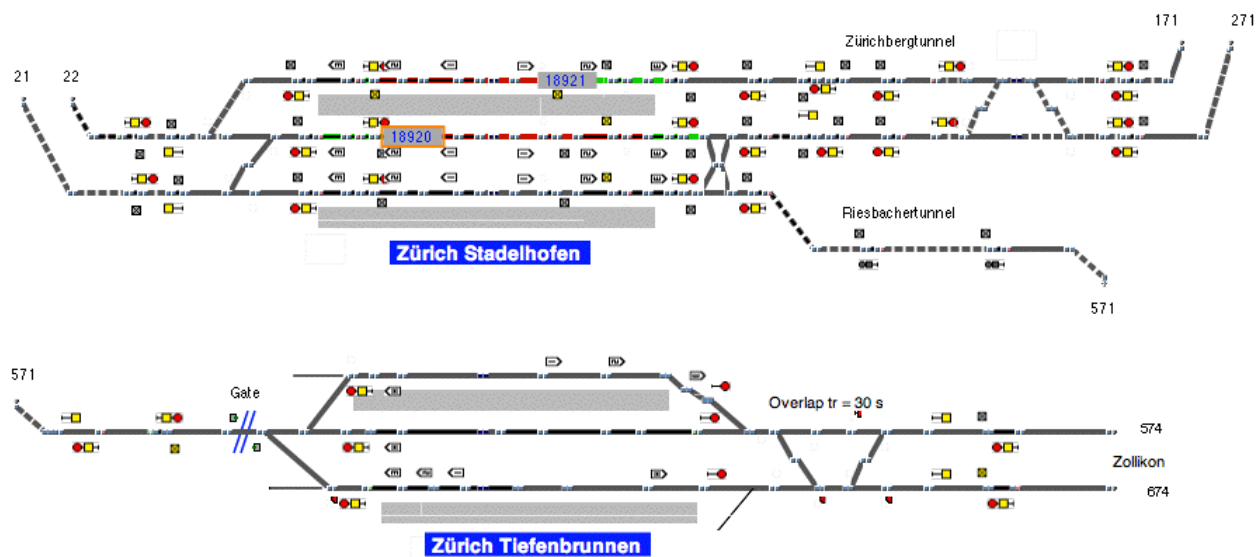


Figura 5-6: Un istante di una simulazione in corso.

5.4. Altri dati in uscita

Come già in parte detto precedentemente, *OpenTrack* consente la visualizzazione dei risultati della simulazione sotto forma di testo o grafici portando l'utente a una più chiara analisi dei dati in uscita. I diagrammi più importanti per le valutazioni a posteriori della circolazione simulata sono: il diagramma spazio-tempo, il diagramma velocità distanza, diagramma di occupazione della stazione, statistiche sull'occupazione dell'infrastruttura.

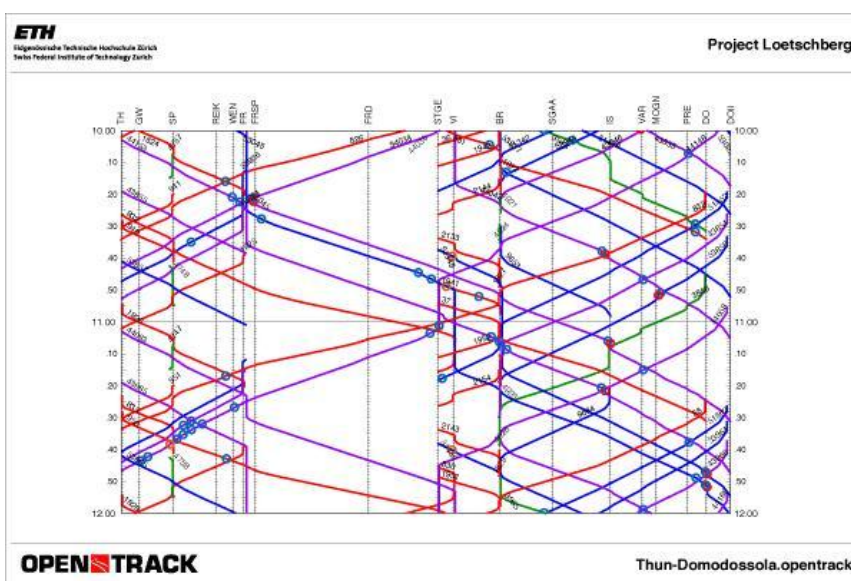


Grafico 5-2: Esempio di diagramma grafico spazio-tempo di un treno che rappresenta diverse corse circolanti in un tratto di linea.

3 ottobre 2013

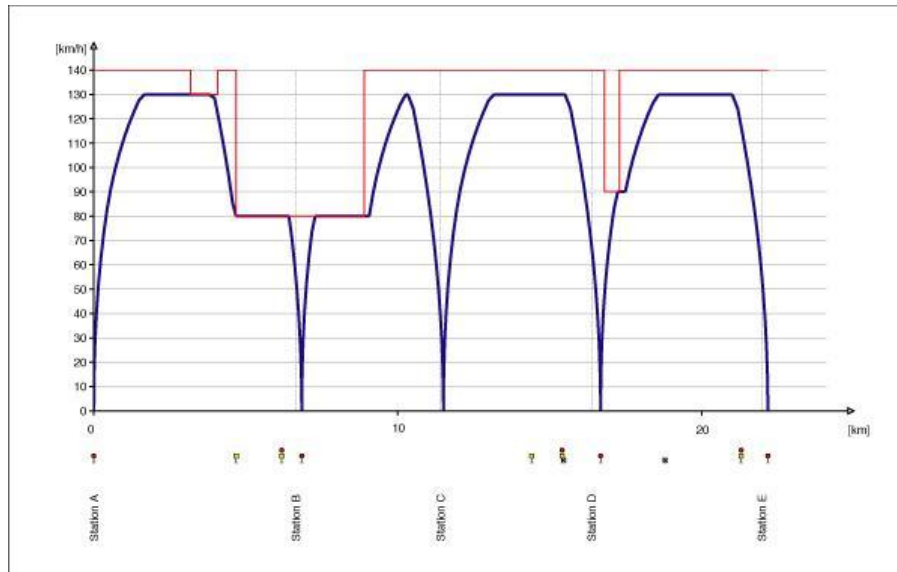


Grafico 5-3: Esempio di diagramma velocità-spazio relativa alla performance di una determinata motrice.

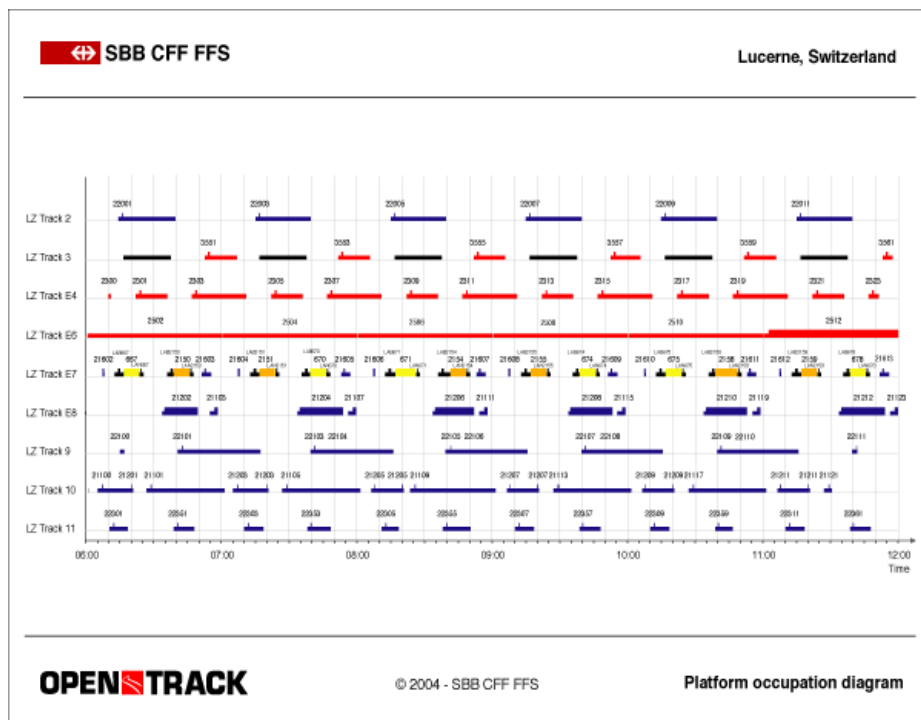


Figura 5-7: Esempio di diagramma di occupazione dei binari di una stazione.

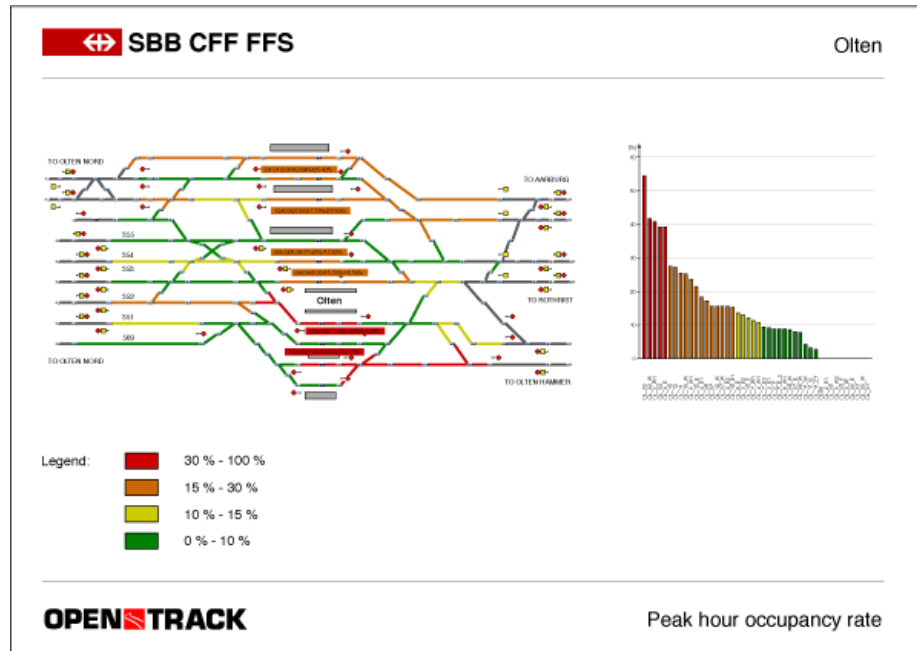


Figura 5-8: Statistiche sull'occupazione dell'infrastruttura (nell'esempio la percentuale di occupazione in ora di punta).

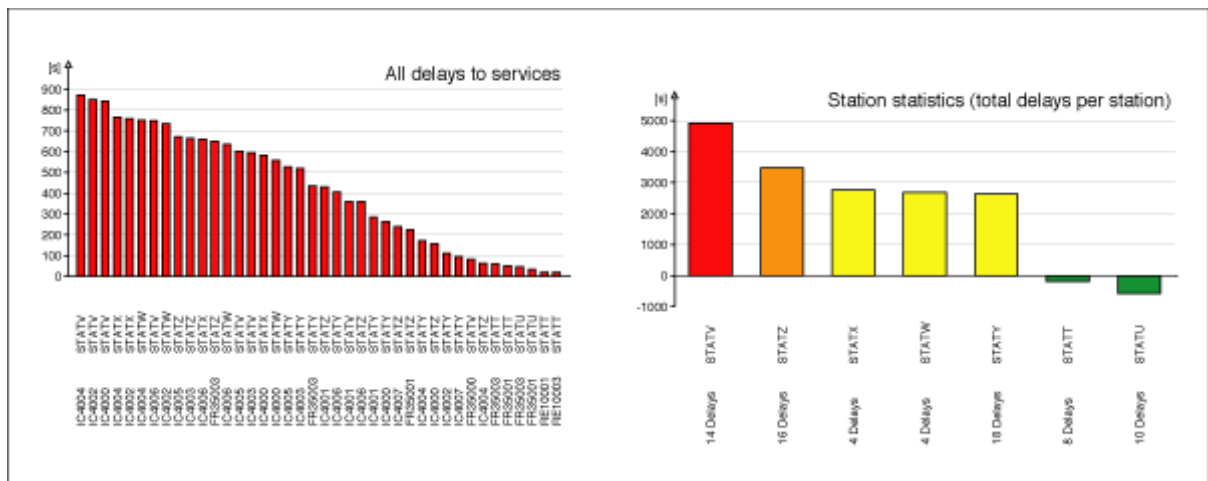


Figura 5-9: Statistiche dei ritardi.

Station		Planned		Actual		Difference		Distance [km]	
Station A	Dep.	2:45:00	9900	2:45:00	9900	+00:00:00	0	0	
Station B	Pass	HH:MM:SS	-1	2:49:35	10175	+00:00:00	0	9.41	9.41
Station C	Pass	HH:MM:SS	-1	2:55:15	10515	+00:00:00	0	24.514	15.104
Station D	Pass	HH:MM:SS	-1	3:04:50	11090	+00:00:00	0	46.822	22.308
Station E	Arr.	3:12:00	11520	3:10:45	11445	-00:01:15	-75	56.071	9.249

Figura 5-10: Esempio di importazione dei dati di output (salvati come file di testo ASCII) in Microsoft Excel.

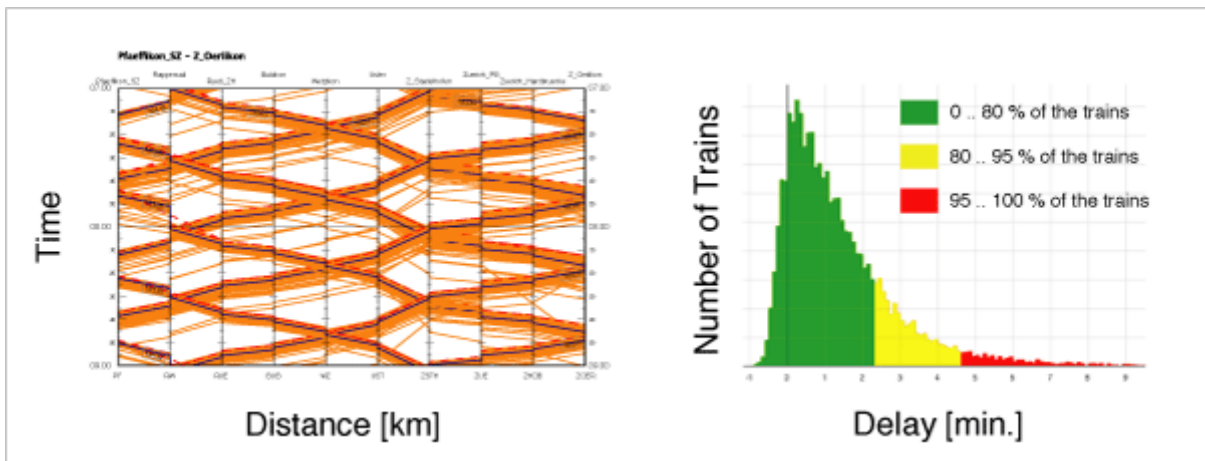


Figura 5-11: Esempio di analisi di dati di output di più simulazioni *OpenTrack*.

6. La creazione di un modello di esercizio

6.1. Simulazione della circolazione

La simulazione della circolazione avviene attraverso il software *OpenTrack* precedentemente illustrato. In particolare, avvalendosi della ricostruzione dell'infrastruttura già presente all'interno del sistema, si è proceduto all'inserimento per l'intera rete di FN (ad esclusione del ramo Brescia\ Rovato – Iseo - Edolo), dell'orario di servizio in vigore. L'inserimento dell'orario all'interno prevede la definizione per ogni singolo treno della tipologia del materiale con cui si effettua il servizio, degli itinerari che le singole corse utilizzano, dei piazzamenti negli impianti di partenza e dei turni macchina.

La simulazione riproduce la circolazione dalle 3:00 del mattino alle 2:00 del mattino del giorno seguente analizzando i grafici spazio-tempo che il programma compila automaticamente; questi ultimi rappresentano la traccia oraria grafica del treno e mostrano il confronto fra la traccia oraria teorica e quella mantenuta dal treno durante la sua corsa. Le discrepanze fra queste ultime due tracce sono da ricercarsi nel livello di performance che l'utente ha scelto, da differenze fra i materiali utilizzati per il servizio, dai perditempo dovuti agli incroci sulle tratte a semplice binario, dagli ingressi in impianti particolarmente complessi, dal perditempo dovuto all'incarozzamento dei viaggiatori o da numerosi livelli di servizio coesistenti sulla linea.

Dato che l'obiettivo primario è quello di analizzare lo svolgimento della circolazione durante le interruzioni programmate d'orario, è necessario trovare un modello che virtualmente possa riprodurre la circolazione reale nel modo più fedele possibile. La necessità di avere un modello risiede nel voler avere la percezione per quanto più possibile chiara delle ripercussioni che le interruzioni programmate hanno sulla fluidità della circolazione stessa: è importante capire l'impatto di una interruzione prima ancora che la stessa venga posta in essere perché sia sempre possibile valutare a priori la soluzione di interruzione che comporti il minor disagio alla clientela o che sia economicamente più sostenibile. Trovare un modello affidabile si traduce con l'attuazione di scelte consapevoli.

6.2. La creazione del modello

Un buon modello di esercizio assolve il compito di dare una visione chiara e completa di come sarebbe la circolazione reale se venissero in essere determinate condizioni. Nello specifico, come accennato precedentemente, il modello di esercizio necessario sarà utile per poter capire come si modifica la circolazione quando vengono programmate le interruzioni parziali di binario.

Per mettere a punto il modello si è focalizzata l'attenzione solamente sulla tratta di studio ossia la Saronno – Malpensa Aeroporto e il funzionamento di *OpenTrack* è stato limitato alla sola tratta di interesse. Poiché *OpenTrack* utilizza dei dati di input e restituisce dei dati di output sarà indispensabile un confronto, a parità di dati di input, fra i dati di output prodotti dalla simulazione e i dati reali della circolazione nella tratta di interesse.

6.2.1. La scelta dei dati

Il modello che si vuole costruire in *OpenTrack* che caratterizza la tratta oggetto di studio necessita di dati input e output, ossia i ritardi medi in ingresso e uscita dalla tratta; essi sono valutati con un riferimento storico di undici mesi necessario ad eliminare le variazioni singolari che si possono verificare a livello di circolazione in alcune giornate. Confrontando i dati della simulazione in ingresso e quelli in uscita con i dati storici si valuta la bontà del modello e la sua conseguente attendibilità. L'attendibilità del modello permette di assimilare lo stesso come attinente alla realtà e di considerare corretti i risultati della simulazione della circolazione a seguito delle interruzioni imposte.

I dati scelti per il modello sono stati desunti dall'SCCT (Sistema Controllo Circolazione Treni) in un periodo compreso fra il 1° gennaio 2012 e il 30 novembre 2012 per i soli giorni feriali.

La scelta di epurare dall'insieme i dati dei giorni festivi e prefestivi è dettata dal fatto che i viaggiatori durante il fine settimana generalmente hanno abitudini diverse rispetto ai giorni feriali: durante i giorni festivi infatti non si hanno fenomeni accentuati di pendolarismo ma il traffico è concentrato nelle ore centrali del giorno a seguito di gite fuori porta o spostamenti di piacere. Durante i giorni festivi e prefestivi per giunta, si verifica contestualmente una riduzione dell'offerta ferroviaria con conseguenti ripercussioni positive sulla regolarità della circolazione: per queste ragioni si tiene conto dei soli giorni feriali.

Inoltre, è stato escluso anche il mese di dicembre 2012 perché in corrispondenza del cambio di orario e quindi della variazione dell'offerta, non si disporrebbe di un campione di dati storici attendibili.

Se si prende in esame solamente la tratta Saronno – Malpensa Aeroporto, si possono identificare per le corse circolanti quattro impianti importanti che costituiscono i punti di ingresso o di uscita dei treni dalla tratta di studio; in particolare essi sono: l'impianto di Saronno, di Vanzaghello Magnago, di Busto Arsizio FN (solo per le corse S30 Bellinzona – Malpensa Aeroporto) e di Malpensa Aeroporto.

Per tutte le corse transittanti nel tratto di interesse è sembrato significativo un confronto tra dati di input ovvero fra la media del ritardo reale in partenza dagli impianti di “ingresso” e quella simulata con il supporto di *OpenTrack*. Per la validazione del modello, ossia per capire se lo scenario simulato è confrontabile con la realtà, sono stati individuati gli impianti di “uscita” delle rispettive corse dal tratto di studio e si è deciso di confrontare i dati di output: si mette a confronto la media del ritardo reale in arrivo agli impianti di uscita per ogni singola corsa con il ritardo simulato in arrivo con l'ausilio di *OpenTrack*.

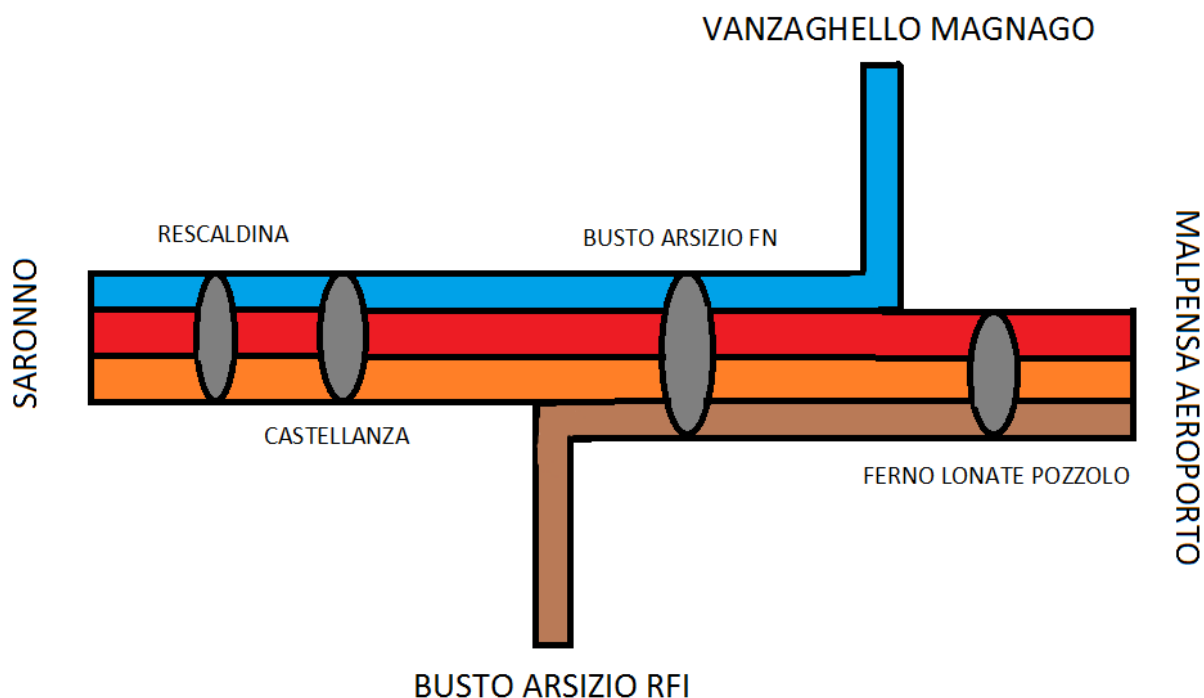


Figura 6-1: Rappresentazione schematica della linea di studio (Saronno – Malpensa Aeroporto) e degli impianti di ingresso e uscita dalla stessa. In azzurro le corse Milano – Novara, in rosso le corse Milano Cadorna – Malpensa Aeroporto, in arancione le corse Milano Centrale – Malpensa Aeroporto, in marrone le corse Bellinzona – Malpensa Aeroporto.

In particolar modo Saronno è l'impianto di ingresso per le corse con numerazione dispari provenienti da Milano e dirette a Novara o Malpensa Aeroporto, ma anche l'impianto di uscita per le corse con numerazioni pari provenienti da Novara e Malpensa Aeroporto e dirette a Milano.

L'impianto di Vanzaghello Magnago rappresenta un ingresso per le corse con numerazione pari provenienti da Novara e dirette a Milano mentre rappresenta un'uscita per le corse con numerazione dispari provenienti da Milano e dirette a Novara.

L'impianto di Malpensa Aeroporto rappresenta un ingresso per le corse con numerazione pari che originano a Malpensa Aeroporto e sono dirette a Milano o Bellinzona mentre rappresenta un'uscita per le corse con numerazione dispari provenienti da Milano o Bellinzona e dirette a Malpensa Aeroporto.

L'impianto di Busto Arsizio FN rappresenta un ingresso per le corse con numerazione dispari provenienti da Bellinzona e dirette a Malpensa Aeroporto, mentre un'uscita per le corse con numerazione pari che originano a Malpensa Aeroporto e sono dirette a Bellinzona.

Effetti della manutenzione del gestore dell'infrastruttura ferroviaria sulla circolazione dei treni

3 ottobre 2013

Data	Treno	Desc FNME Impianti Fermate	Linea	Orientamento	Minuti Ritardo Arrivo	Minuti Ritardo Partenza	Orario Arrivo Fermate	Orario Partenza Fermate
02/01/2012	19	Saronno	MI-LA	D	5	5	08:10:00	08:12:00
02/01/2012	25	Saronno	MI-LA	D	0	0	09:10:00	09:12:00
02/01/2012	29	Saronno	MI-LA	D	0	1	09:58:00	09:59:00
02/01/2012	31	Saronno	MI-LA	D	2	3	10:58:00	10:59:00
02/01/2012	47	Saronno	MI-LA	D	1	1	14:10:00	14:12:00
02/01/2012	55	Saronno	MI-LA	D	2	4	15:58:00	15:59:00
02/01/2012	61	Saronno	MI-LA	D	2	2	17:10:00	17:12:00
02/01/2012	67	Saronno	MI-LA	D	5	5	18:10:00	18:12:00
02/01/2012	75	Saronno	MI-LA	D	1	0	19:10:00	19:12:00
02/01/2012	117	Saronno	MI-CO	D	0	0	08:02:00	08:04:00
02/01/2012	123	Saronno	MI-CO	D	0	0	09:02:00	09:04:00
02/01/2012	125	Saronno	MI-CO	D	1	1	09:20:00	09:22:00
02/01/2012	129	Saronno	MI-CO	D	0	0	10:02:00	10:04:00
02/01/2012	131	Saronno	MI-CO	D	3	2	11:02:00	11:04:00
02/01/2012	135	Saronno	MI-CO	D	1	1	12:02:00	12:04:00
02/01/2012	141	Saronno	MI-CO	D	3	3	13:02:00	13:04:00
02/01/2012	145	Saronno	MI-CO	D	2	1	14:02:00	14:04:00
02/01/2012	149	Saronno	MI-CO	D	1	1	15:02:00	15:04:00
02/01/2012	155	Saronno	MI-CO	D	5	4	16:02:00	16:04:00
02/01/2012	159	Saronno	MI-CO	D	0	2	17:02:00	17:04:00
02/01/2012	165	Saronno	MI-CO	D	8	8	18:02:00	18:04:00
02/01/2012	169	Saronno	MI-CO	D	0	0	18:32:00	18:34:00
02/01/2012	173	Saronno	MI-CO	D	1	1	19:02:00	19:04:00
02/01/2012	179	Saronno	MI-CO	D	6	7	20:02:00	20:04:00
02/01/2012	183	Saronno	MI-CO	D	2	1	21:02:00	21:04:00
02/01/2012	185	Saronno	MI-CO	D	0	0	21:32:00	21:34:00
02/01/2012	213	Saronno	MI-NO	D	2	1	07:05:00	07:06:00
02/01/2012	217	Saronno	MI-NO	D	3	3	08:05:00	08:06:00
02/01/2012	223	Saronno	MI-NO	D	0	0	09:05:00	09:06:00
02/01/2012	229	Saronno	MI-NO	D	0	0	10:05:00	10:06:00
02/01/2012	231	Saronno	MI-NO	D	2	2	11:05:00	11:06:00
02/01/2012	235	Saronno	MI-NO	D	1	2	12:05:00	12:06:00
02/01/2012	241	Saronno	MI-NO	D	3	3	13:05:00	13:06:00
02/01/2012	245	Saronno	MI-NO	D	2	2	14:05:00	14:06:00
02/01/2012	249	Saronno	MI-NO	D	3	3	15:05:00	15:06:00
02/01/2012	255	Saronno	MI-NO	D	12	11	16:05:00	16:06:00
02/01/2012	259	Saronno	MI-NO	D	4	4	17:05:00	17:06:00
02/01/2012	265	Saronno	MI-NO	D	7	7	18:05:00	18:06:00
02/01/2012	273	Saronno	MI-NO	D	1	1	19:05:00	19:06:00
02/01/2012	279	Saronno	MI-NO	D	5	5	20:05:00	20:06:00

Tabella 6-1: Estratto dell'SCCT di Saronno del 2 gennaio 2012.

Dal Sistema Controllo Circolazione Treni sono stati estratti i seguenti dati:

- La media sugli undici mesi del ritardo in partenza da Saronno per ogni corsa dispari proveniente da Milano per Malpensa Aeroporto e per Novara.
- La media del ritardo sugli undici mesi in partenza da Malpensa Aeroporto per ogni corsa pari in partenza per Milano Cadorna, Milano Centrale e Bellinzona.
- La media del ritardo sugli undici mesi in partenza da Vanzaghello Magnago per ogni corsa pari proveniente da Novara per Milano Cadorna.

3 ottobre 2013

- La media del ritardo sugli undici mesi in partenza da Busto Arsizio FN per ogni corsa dispari provenienti da Bellinzona per Malpensa Aeroporto.
- La media del ritardo sugli undici mesi in arrivo a Saronno delle corse pari provenienti da Malpensa Aeroporto e da Novara per Milano.
- La media del ritardo sugli undici mesi in arrivo a Malpensa Aeroporto delle corse dispari provenienti da Milano Cadorna, Milano Centrale e Bellinzona.
- La media del ritardo sugli undici mesi in arrivo a Vanzaghello Magnago delle corse dispari provenienti da per Milano Cadorna per Novara.
- La media del ritardo sugli undici mesi in arrivo a Busto Arsizio FN delle corse pari provenienti da Malpensa Aeroporto per Bellinzona.

Le medie di ritardo in partenza calcolate dai dati dell'SCCT sono state inserite in *OpenTrack* assegnandole alle corse nei rispettivi impianti di ingresso nella tratta di studio; in particolare:

- E' stata assegnata la media sugli undici mesi del ritardo in partenza da Saronno ad ogni corsa dispari proveniente da Milano per Malpensa Aeroporto e per Novara.
- E' stata assegnata la media del ritardo sugli undici mesi in partenza da Malpensa Aeroporto ad ogni corsa pari in partenza per Milano Cadorna, Milano Centrale e Bellinzona.
- E' stata assegnata la media del ritardo sugli undici mesi in partenza da Vanzaghello Magnago ad ogni corsa pari proveniente da Novara per Milano Cadorna.
- E' stata assegnata la media del ritardo sugli undici mesi in partenza da Busto Arsizio FN per ogni corsa dispari provenienti da Bellinzona per Malpensa Aeroporto.

Dopo aver assegnato queste medie di ritardo in qualità di dati di input, è stata avviata la simulazione con diverse performance e ne sono stati analizzati i dati di output per ogni scenario di performance; fra i dati di output sono stati estratti in particolare:

- Il ritardo in partenza simulato da Saronno per ogni corsa dispari proveniente da Milano per Malpensa Aeroporto e per Novara.
- Il ritardo in partenza simulato da Malpensa Aeroporto per ogni corsa pari in partenza per Milano Cadorna, Milano Centrale e Bellinzona.
- Il ritardo in partenza simulato da Vanzaghello Magnago per ogni corsa pari proveniente da Novara per Milano Cadorna.
- Il ritardo in partenza simulato da Busto Arsizio FN per ogni corsa dispari provenienti da Bellinzona per Malpensa Aeroporto.
- Il ritardo in arrivo simulato a Saronno delle corse pari provenienti da Malpensa Aeroporto e da Novara per Milano.
- Il ritardo in arrivo simulato a Malpensa Aeroporto delle corse dispari provenienti da Milano Cadorna, Milano Centrale e Bellinzona.

3 ottobre 2013

- Il ritardo in arrivo simulato a Vanzaghello Magnago delle corse dispari provenienti da per Milano Cadorna per Novara.
- Il ritardo in arrivo simulato a Busto Arsizio FN delle corse pari provenienti da Malpensa Aeroporto per Bellinzona.

Sono stati estrapolati i precedenti dati per poter confrontare la media di ritardo in arrivo o in partenza dagli impianti per una determinata corsa con il ritardo in arrivo o in partenza simulato in un determinato scenario al fine di poter scegliere lo scenario che fornisce dei dati di ritardo più vicini alle medie di ritardo reali.

Come illustrato precedentemente, *OpenTrack* dà la possibilità di poter effettuare la simulazione con diverse performance ottenendo diversi scenari e rispettivamente diversi dati di output. Variando la performance si variano le prestazioni dei convogli circolanti in termini di accelerazione impiegata e di velocità massima raggiungibile. Più la performance si allontana dal 100% e più le prestazioni delle macchine non saranno ottimali: generalmente la performance del 100% rappresenta una situazione ideale, perché, data la grande variabilità di eventi negativi che possono incorrere durante la marcia dei treni, è impossibile impiegare i convogli al massimo della loro prestazione.

Il confronto fra i diversi scenari di ritardo e i ritardi medi reali è stato effettuato con diversi approcci:

- Un confronto per fascia oraria: i treni sono stati divisi per fascia oraria di circolazione e sono state confrontate la media sulla fascia oraria delle medie di ritardo reali delle corse appartenenti alla singola fascia oraria con la media sulla fascia oraria dei ritardi simulati delle corse appartenenti a quella fascia oraria.

Il confronto è stato effettuato per i treni in arrivo pari e in partenza dispari per gli impianti di Saronno e di Busto Arsizio FN, e per i treni in arrivo dispari e in partenza pari per gli impianti di Vanzaghello Magnago e Malpensa Aeroporto.

3 ottobre 2013

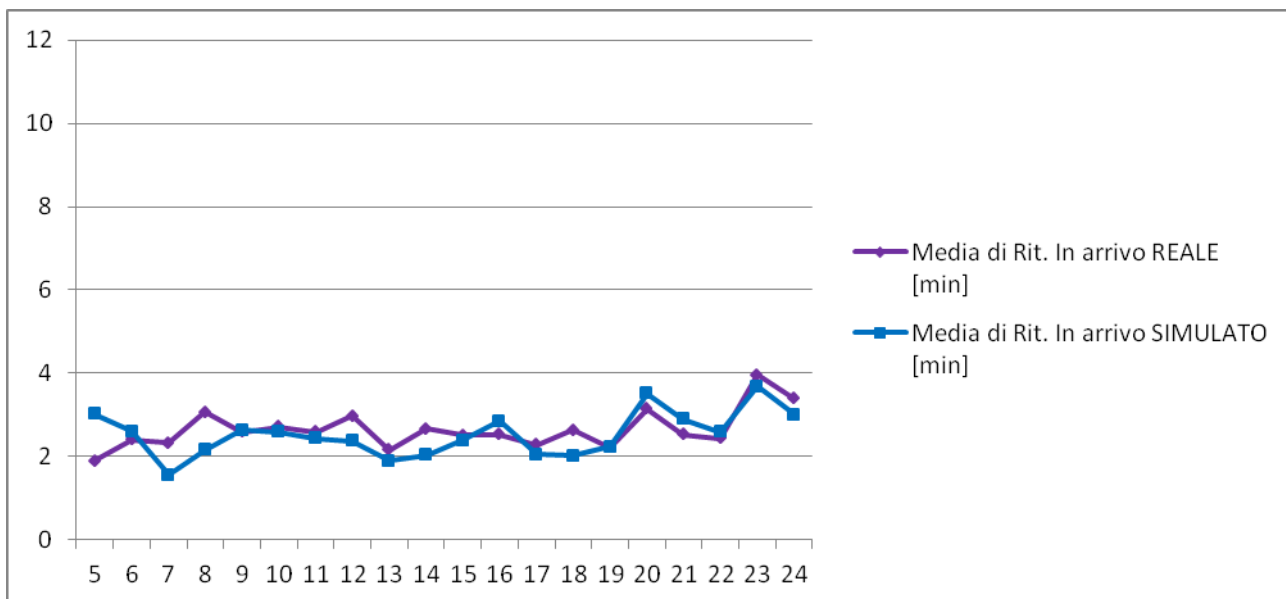


Grafico 6-1: Esempio di confronto per fascia oraria.

- Un confronto per corsa: sono stati confrontati, treno per treno, la media del ritardo reale del treno con il ritardo simulato del treno.

Il confronto è stato effettuato per i treni in arrivo pari e in partenza dispari per gli impianti di Saronno e di Busto Arsizio FN, e per i treni in arrivo dispari e in partenza pari per gli impianti di Vanzaghella Magnago e Malpensa Aeroporto.

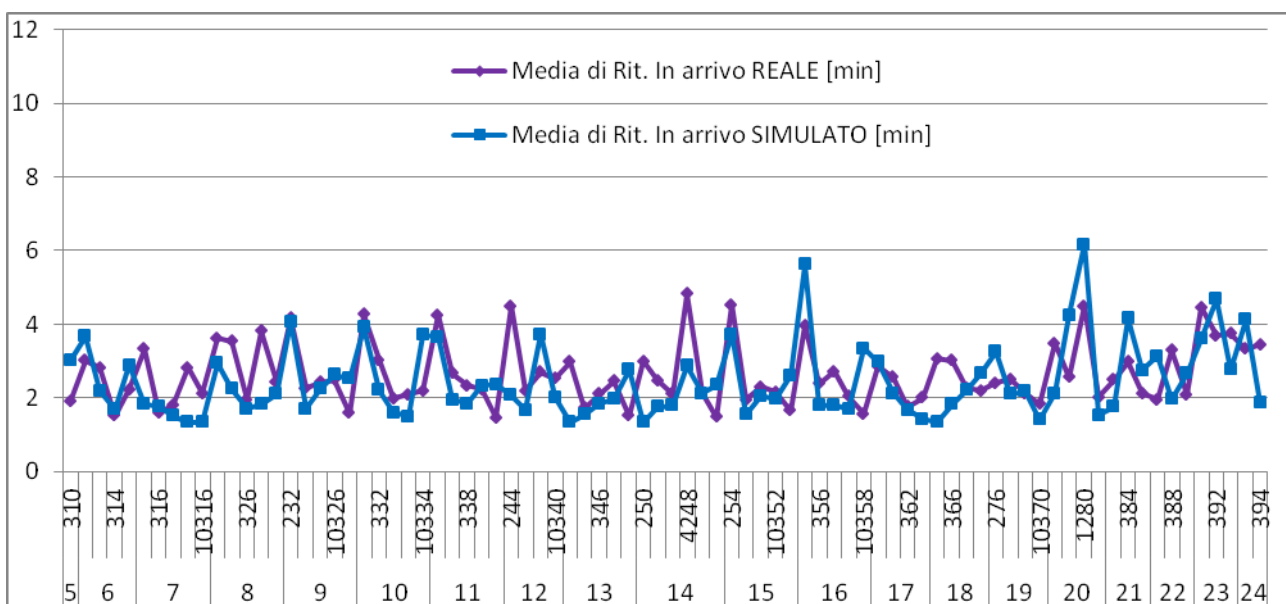


Grafico 6-2: Esempio di confronto per corsa.

Questa modalità di accorpamento dei dati per fascia oraria ha consentito una migliore leggibilità degli stessi.

Tra tutte le diverse performance possibili si sono scelte quelle comprese fra il 90 e il 95% valutando la coerenza dello scenario di output alla realtà.

Generalmente, in fase di pianificazione dell'offerta ferroviaria o durante la costruzione dell'orario ferroviario, si prevede per ogni traccia oraria un allungamento di percorrenza del 7% rispetto allo scenario ottimale in modo da poter ammortizzare eventuali perditempo di lieve entità e di natura variabile che si verificano durante la marcia reale del treno.

Pur ipotizzando verosimilmente che lo scenario di simulazione che meglio approssima la realtà sia quello del 93% (che corrisponde al livello di massima performance tenendo conto dell'allungamento del 7% imposto dalla pianificazione), si sono comunque considerati anche i due scenari estremi dell'intervallo (quelli con performance al 90% e al 95%) per poter effettuare delle considerazioni aggiuntive e di confronto fra scenari.

6.3. Simulazioni a confronto

Per i confronti di seguito riportati, sono proposti solo i grafici che rappresentano i confronti fra gli scenari per fasce orarie; i grafici confronto per corsa invece sono stati raggruppati negli allegati numero 1,2 e 3 divisi a seconda della performance utilizzata (90%, 93% o 95%).

6.3.1. Scenari di input

6.3.1.1. L'impianto di Saronno: corse in partenza con numerazione dispari

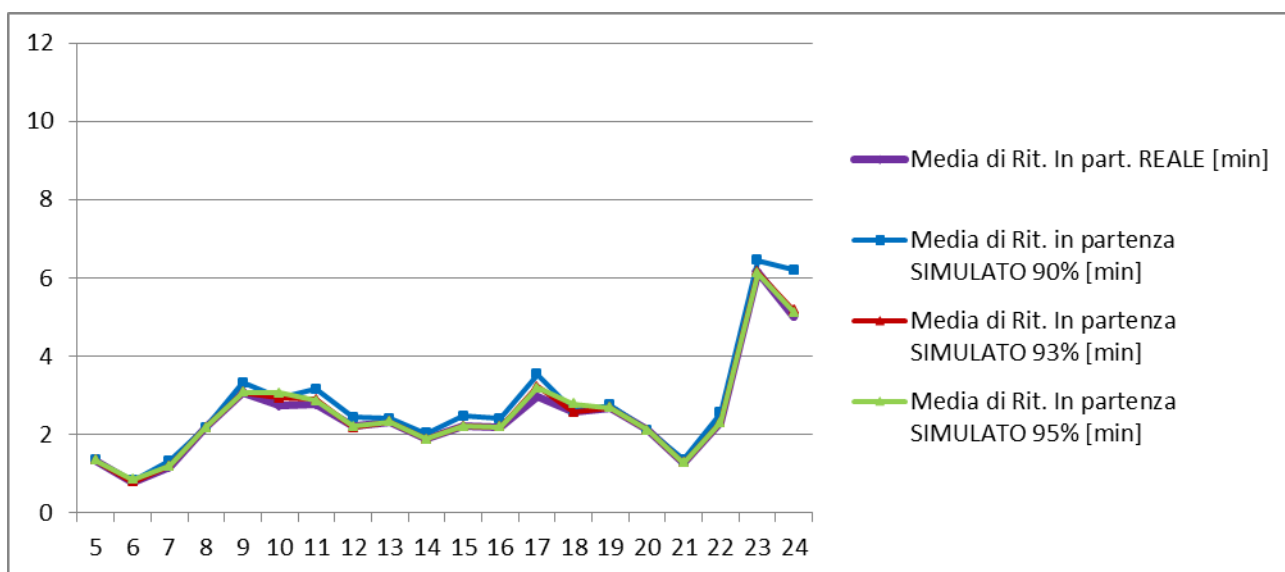


Grafico 6-3: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in partenza reali e l'andamento della media dei ritardi in partenza simulati (con performance del 90%, 93%, 95%) nell'impianto di Saronno per le corse aventi numerazione dispari.

Il grafico mostra il confronto per ogni fascia oraria, tra la media dei ritardi in partenza reali e la media dei ritardi in partenza simulati con diverse performance per l'impianto di Saronno per le corse aventi numerazione dispari. Ciò che viene evidenziato è che tutte e tre gli scenari desunti con diverse performance (al 90%, al 93% e al 95%) sono molto aderenti alla realtà con pochissime differenze fra essi. Solamente nelle fasce orarie serali, vicine alla mezzanotte, lo scenario avente performance del 90% fornisce una visione peggiorativa rispetto alla realtà.

6.3.1.1.1. L'impianto di Malpensa Aeroporto: corse in partenza con numerazione pari

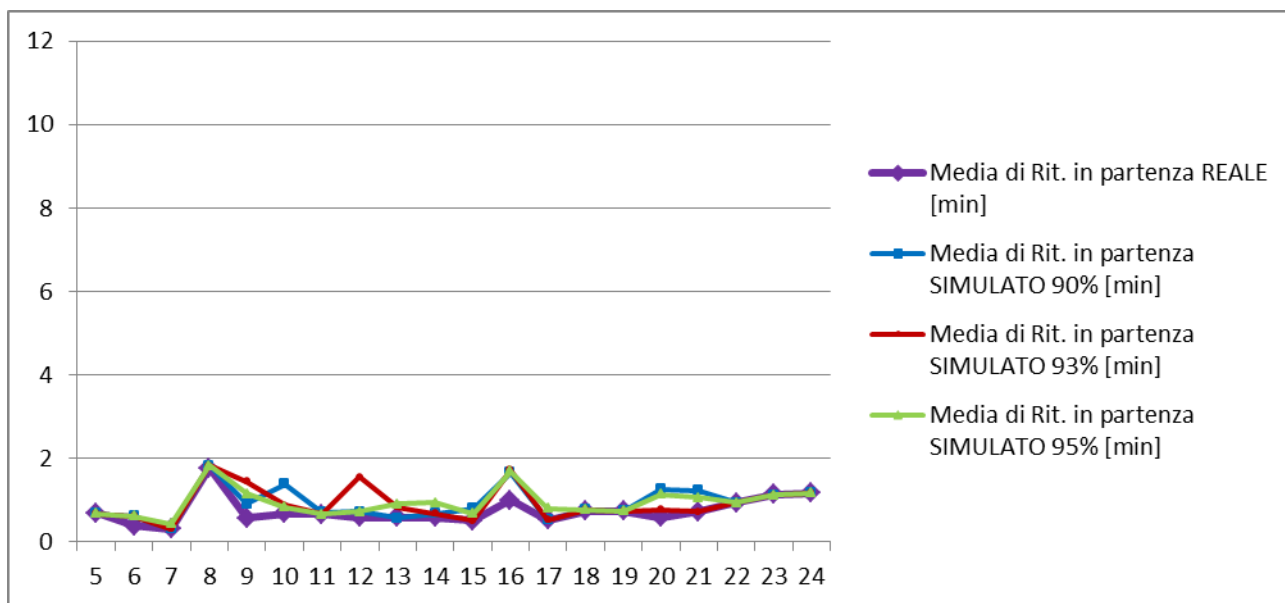


Grafico 6-4: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in partenza reali e l'andamento della media dei ritardi in partenza simulati (con performance del 90%, 93%, 95%) nell'impianto di Malpensa Aeroporto per le corse aventi numerazione pari.

Il grafico mostra il confronto per ogni fascia oraria, tra la media dei ritardi in partenza reali e la media dei ritardi in partenza simulati con diverse performance per l'impianto di Malpensa Aeroporto per le corse aventi numerazione pari. Tutti e tre gli scenari desunti con diverse performance (al 90%, al 93% e al 95%) propongono una situazione abbastanza aderente alla realtà salvo nelle ore di punta della giornata dove i ritardi risultano talvolta amplificati.

6.3.1.2. L'impianto di Vanzaghello Magnago: corse in partenza con numerazione pari

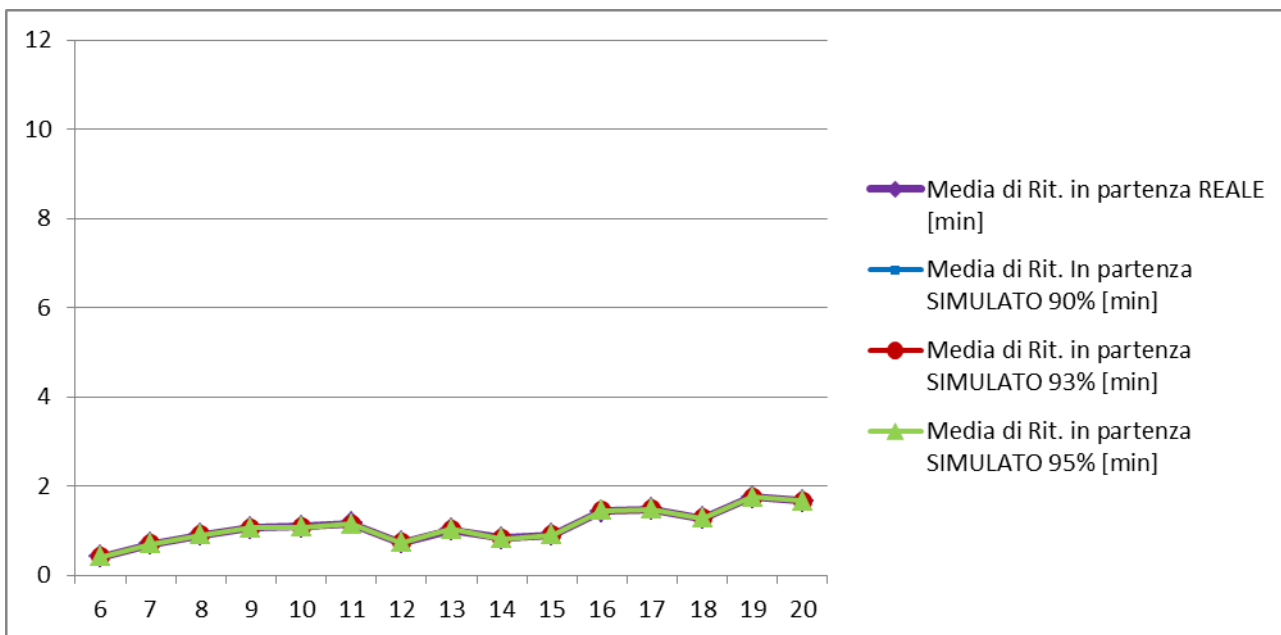


Grafico 6-5: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in partenza reali e l'andamento della media dei ritardi in partenza simulati (con performance del 90%, 93%, 95%) nell'impianto di Vanzaghello Magnago per le corse aventi numerazione pari.

Il grafico mostra il confronto per ogni fascia oraria, tra la media dei ritardi in partenza reali e la media dei ritardi in partenza simulati con diverse performance per l'impianto di Vanzaghello Magnago per le corse aventi numerazione pari. Tutte e tre gli scenari desunti con diverse performance (90%, 93%, 95%) riproducono in modo perfetto la realtà.

6.3.1.3. L'impianto di Busto Arsizio: corse in partenza dirette a Bellinzona con numerazione dispari

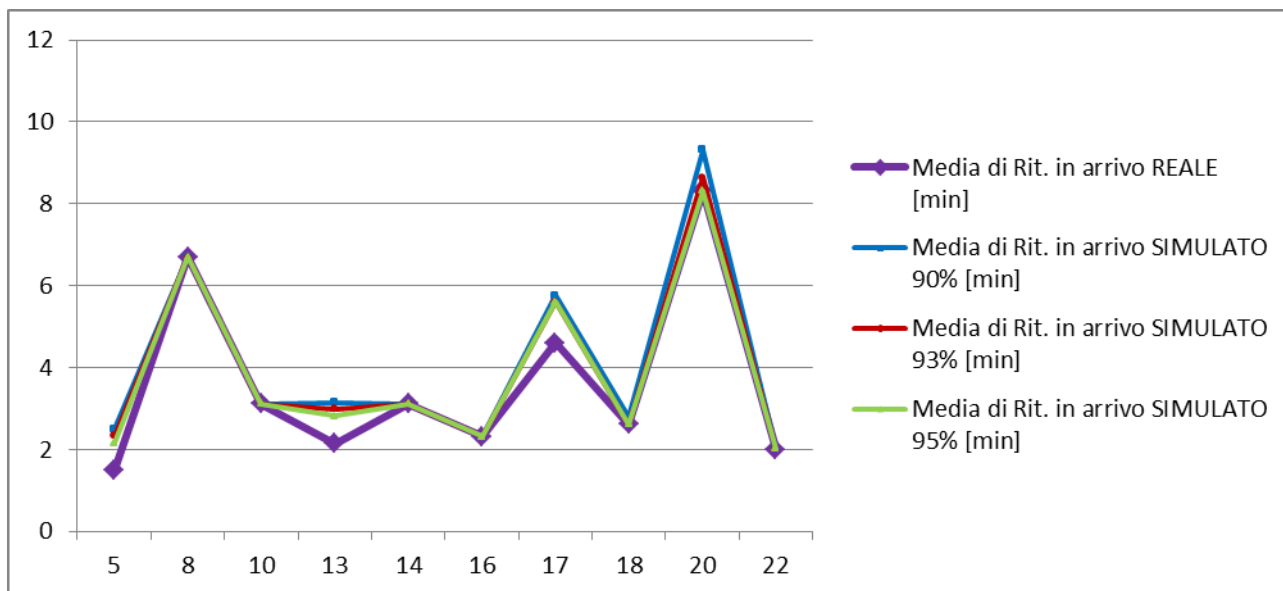


Grafico 6-6: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in partenza reali e l'andamento della media dei ritardi in partenza simulati (con performance del 90%, 93%, 95%) nell'impianto di Busto Arsizio FN per le corse aventi numerazione dispari, provenienti da Bellinzona.

Il grafico mostra il confronto per ogni fascia oraria, tra la media dei ritardi in partenza reali e la media dei ritardi in partenza simulati con diverse performance per l'impianto di Busto Arsizio FN per le corse aventi numerazione dispari, provenienti da Bellinzona. Tutte e tre gli scenari desunti con diverse performance (90%, 93%, 95%) riproducono abbastanza bene la realtà evidenziando che più la performance si abbassa, più i ritardi risultano amplificati.

6.3.2. Scenari di output

6.3.2.1. L'impianto di Saronno: corse in arrivo con numerazione pari

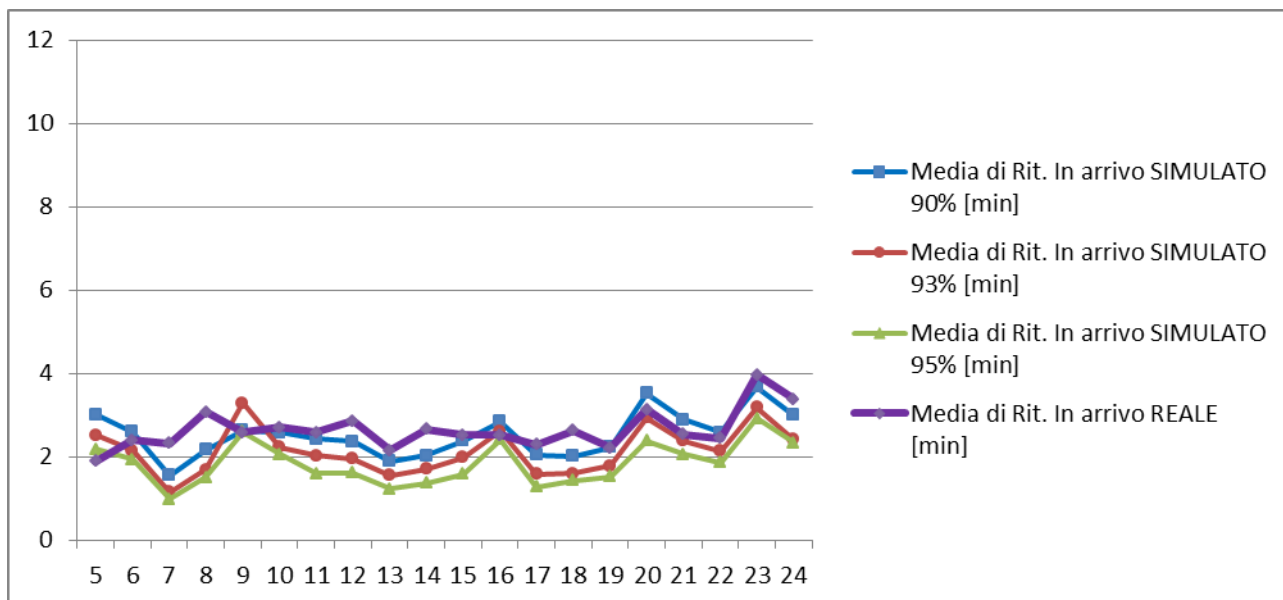


Grafico 6-7: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati (con performance del 90%, 93%, 95%) nell'impianto di Saronno per le corse aventi numerazione pari.

Il grafico mostra il confronto per ogni fascia oraria, tra la media dei ritardi in arrivo reali e la media dei ritardi in arrivo simulati con diverse performance per l'impianto di Saronno per le corse aventi numerazione pari. Appare evidente che lo scenario ottenuto con performance del 90% riproduce più fedelmente degli altri due la situazione reale. Lo scenario ottenuto con la performance del 93% riproduce in modo meno fedele la realtà rispetto allo scenario al 90% ma comunque gli scostamenti rimangono ampiamente nei limiti dell'accettabilità. Il terzo scenario, ovvero quello ottenuto con performance al 95% propone una visione molto ottimista della realtà con ritardi medi in alcuni casi nettamente inferiori rispetto alla situazione reale.

6.3.2.2. L'impianto di Malpensa Aeroporto: corse in arrivo con numerazione dispari

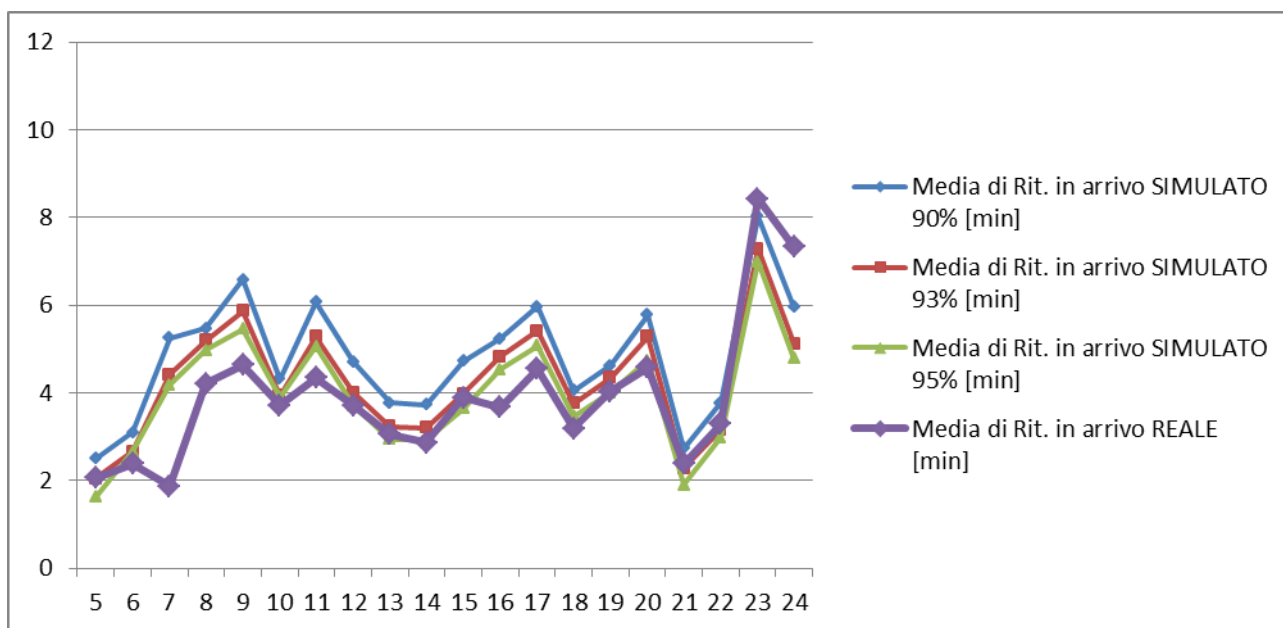


Grafico 6-8: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati (con performance del 90%, 93%, 95%) nell'impianto di Malpensa Aeroporto per le corse aventi numerazione dispari.

Il grafico mostra il confronto per ogni fascia oraria, tra la media dei ritardi in arrivo reali e la media dei ritardi in arrivo simulati con diverse performance per l'impianto di Malpensa Aeroporto per le corse aventi numerazione dispari. Appare evidente che lo scenario che meglio approssima la realtà è quello ottenuto con la performance del 95% anche se gli altri due scenari non si discostano in modo rilevante dai risultati di quest'ultimo. Lo scenario con performance del 90% consente di mantenersi a favore di sicurezza con scostamenti di ritardo contenuti rispetto allo scenario reale.

6.3.2.3. L'impianto di Vanzaghello Magnago: corse in arrivo con numerazione dispari

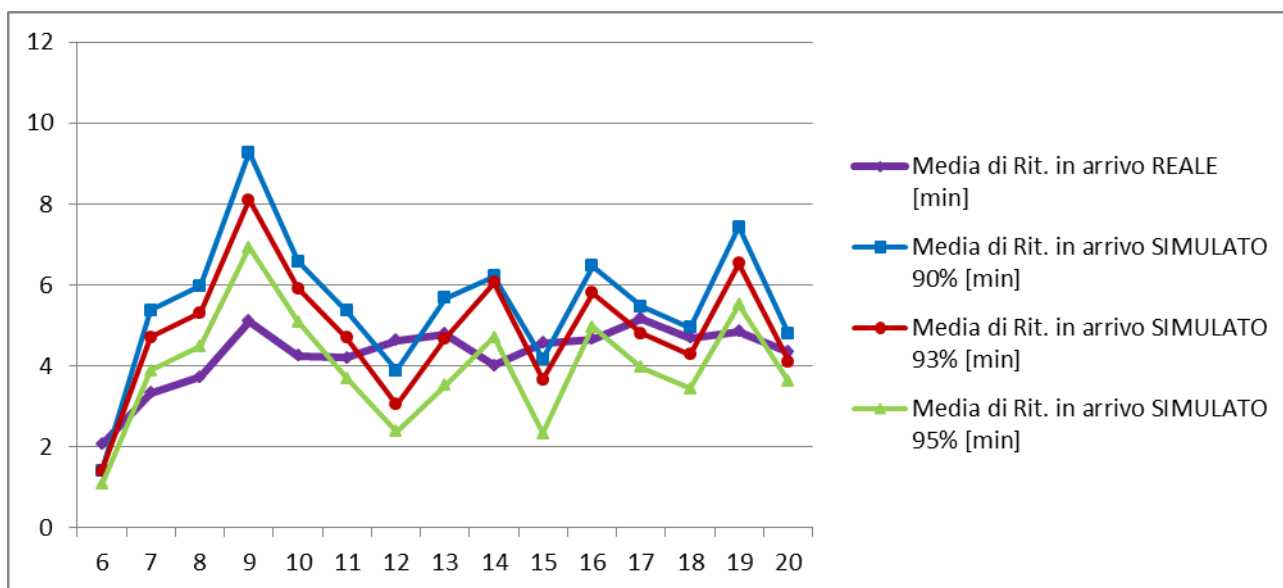


Grafico 6-9: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati (con performance del 90%, 93%, 95%) nell'impianto di Vanzaghello Magnago per le corse aventi numerazione dispari.

Il grafico mostra il confronto per ogni fascia oraria, tra la media dei ritardi in arrivo reali e la media dei ritardi in arrivo simulati con diverse performance per l'impianto di Vanzaghello Magnago per le corse aventi numerazione dispari. Appare evidente che lo scenario che meglio approssima la realtà è quello ottenuto con la performance del 95% anche se gli altri due scenari non si discostano in modo rilevante dai risultati di quest'ultimo. Lo scenario con performance del 90%, proponendo una visione pessimista della realtà, consente di mantenersi generalmente a favore di sicurezza con scostamenti di ritardo contenuti rispetto allo scenario reale.

6.3.2.4. L'impianto di Busto Arsizio FN: corse in arrivo provenienti da Bellinzona con numerazione pari

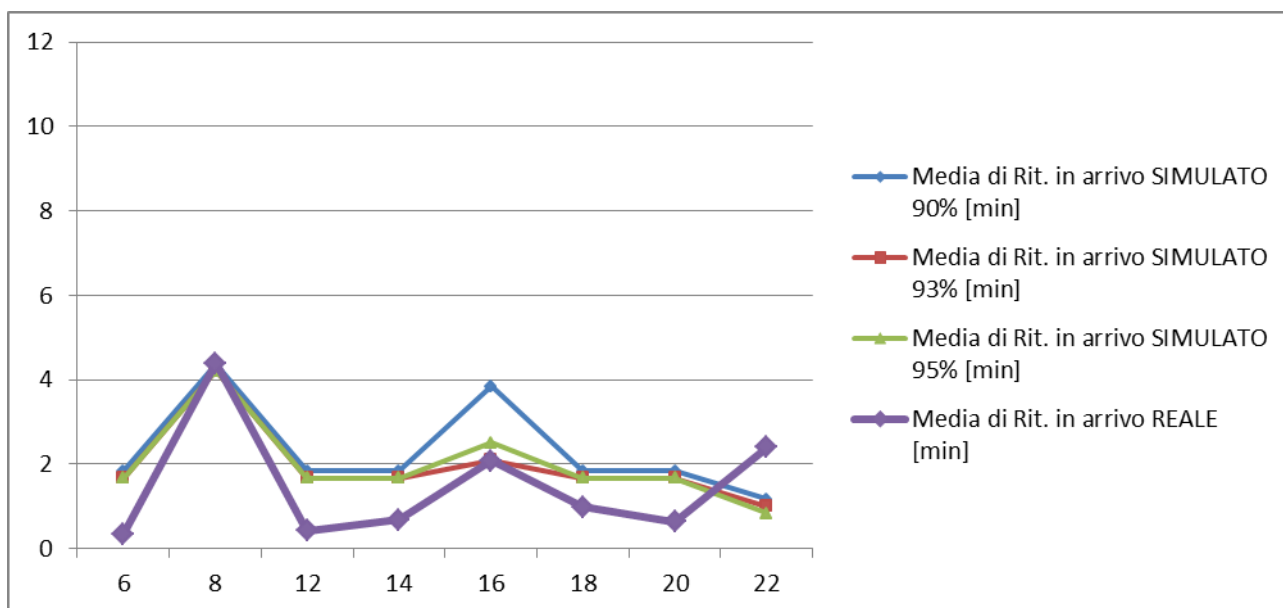


Grafico 6-10: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati (con performance del 90%, 93%, 95%) nell'impianto di Busto Arsizio FN per le corse aventi numerazione pari, diretti a Bellinzona.

Il grafico mostra il confronto per ogni fascia oraria, tra la media dei ritardi in arrivo reali e la media dei ritardi in arrivo simulati con diverse performance per l'impianto di Busto Arsizio per le corse aventi numerazione pari e con destinazione Bellinzona. Tutti e tre gli scenari ottenuti con diverse performance (al 90%, al 93% e al 95%) riproducono abbastanza bene la realtà salvo la fascia di punta serale dove più la performance si abbassa più i ritardi risultano amplificati rispetto alla realtà.

6.4. Scenario di riferimento

Dopo aver confrontato la media dei ritardi in partenza e in arrivo nei rispettivi impianti, secondo diverse performance, lo scenario con performance al 90% è quello che consente di rimanere più a favore di sicurezza rispetto agli altri scenari analizzati; pertanto il 90% verrà preso come riferimento per le successive simulazioni.

7. Interruzioni programmate

Con il termine *interruzione programmata di binario* si intende l'indisponibilità al transito di un binario di circolazione al fine di rendere possibili operazioni di manutenzione; essa è pianificata nel tempo.

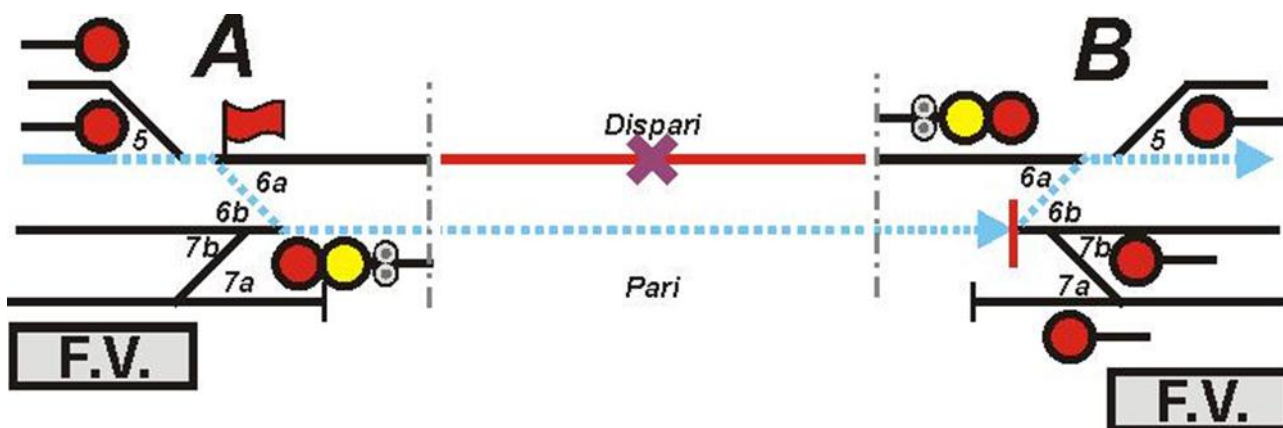


Figura 7-1: Esempio di interruzione di linea del binario dispari e circolazione a senso alternato sul binario pari.

7.1. La necessità di interruzioni programmate

Il crescente aumento e la diversificazione dell'offerta ferroviaria (utili a poter rispondere meglio alle esigenze della circolazione) hanno portato gradualmente ad una situazione di quasi saturazione dell'infrastruttura; un'infrastruttura satura di servizi, soprattutto nelle ore di punta, non ha spazio sufficiente per poter effettuare le operazioni di manutenzione.

L'infrastruttura deve effettuare nell'arco della sua vita utile la manutenzione essenziale ad evitare interventi straordinari: le manutenzioni straordinarie sono quelle più gravose perché risultano necessarie quando incorrono danneggiamenti o malfunzionamenti inoltre comportano costi non preventivabili. E' da valutare anche sia l'importanza che la frequenza della manutenzione programmata: si può optare infatti o per manutenzioni programmate meno frequenti ma più lunghe in termini di durata delle lavorazioni, oppure scegliere interventi programmati più frequenti e meno lunghi. Generalmente si fa in modo di calibrare frequenza e durata in modo da minimizzare il fattore economico che resta certamente di fondamentale importanza.

Attualmente, la manutenzione viene effettuata durante le ore notturne per la quasi totale assenza di treni in circolazione ma comporta dei costi più elevati. L'aumento dell'offerta ferroviaria ha ampliato di molto l'arco del servizio, riducendo le ore in cui non circola alcun treno sulla rete e quindi lo spazio temporale per la manutenzione notturna. Questa situazione ha spinto l'azienda a ricercare nuovi spazi temporali per poter effettuare la manutenzione necessitando al tempo stesso un contenimento dei

costi; questi spazi devono essere ricercati necessariamente in orario diurno. Pertanto occorre stimare se sia meglio interrompere parzialmente la circolazione e permettere i lavori durante il giorno sopportando disagi che restano nei limiti dell'accettabilità oppure se sia preferibile continuare a prediligere la fascia notturna che tecnicamente è quella più indicata per la quasi totale assenza di treni in circolazione. Per poter effettuare questo confronto è necessario prima di tutto trovare le fasce orarie diurne in cui le interruzioni programmate sono possibili e una volta trovate, valutarne le conseguenze e il loro impatto sulla circolazione.

Le fasce diurne di punta non sono state prese in considerazione perché sono quelle dove il numero di passeggeri è più elevato e ritardi modesti possono essere percepiti come fortemente negativi dai viaggiatori. Le ore intermedie della giornata invece, si ipotizza consentano l'installazione di cantieri su uno dei due binari fra Saronno e Malpensa Aeroporto permettendo la circolazione a senso unico alternato dei treni sull'unico binario rimasto in esercizio. La fascia oraria compresa fra le 10:00 e le 16:00 individua l'ora di morbida: la scelta dell'intero arco temporale consente la massimizzazione del tempo dedicato alle lavorazioni.

Le interruzioni programmate di binario non interessano generalmente gli impianti di stazione, salvo alcune interruzioni: a causa delle caratteristiche di impianto, i treni sono costretti a proseguire talvolta anche all'interno delle stazioni fino a raggiungere il primo deviatoio utile per riprendere la marcia sul binario dedicato. Ciò determina una situazione più critica rispetto ad altri casi per i quali non si è costretti a prolungare il senso unico alternato all'interno dell'impianto adiacente il cantiere stesso.

Al fine di valutare gli effetti di ogni interruzione, utili per poter mettere in grado il gestore dell'infrastruttura di deciderne la fattibilità, si torna a fare uso del software *OpenTrack* che, per quanto argomentato nel capitolo precedente, è in grado di riprodurre scenari comparabili a quelli reali.

7.2. Utilizzo di *OpenTrack* per la simulazione delle interruzioni programmate

La Simulazione attraverso l'utilizzo di *OpenTrack* riproduce la circolazione dalle 3:00 del mattino alle 2:00 del mattino del giorno seguente. I grafici spazio-tempo compilati dal programma rappresentano la traccia oraria grafica del treno e mostrano il confronto fra la traccia oraria teorica e quella mantenuta dal treno durante la sua corsa. In particolare tra le 10:00 e le 16:00, il programma riproduce virtualmente le singole interruzioni parziali di binario scelte e regola la circolazione a binario unico. Durante le simulazioni si è scelta la performance del 90% perché, come argomentato nel capitolo precedente, è quella che consente di porsi più a favore di sicurezza.

Da Saronno a Malpensa Aeroporto sono state individuate dodici interruzioni di linea, qui di seguito elencate:

1. Interruzione della circolazione sul binario dispari tra Saronno e Rescaldina
2. Interruzione della circolazione sul binario pari fra Rescaldina e Saronno
3. Interruzione della circolazione sul binario dispari fra Rescaldina e Castellanza
4. Interruzione della circolazione sul binario pari fra Castellanza e Rescaldina
5. Interruzione della circolazione sul binario dispari fra Castellanza e Busto Arsizio
6. Interruzione della circolazione sul binario pari fra Busto Arsizio e Castellanza
7. Interruzione della circolazione sul binario dispari fra Busto Arsizio e il bivio Sacconago
8. Interruzione della circolazione sul binario pari fra il bivio Sacconago e Busto Arsizio
9. Interruzione della circolazione sul binario dispari fra il bivio Sacconago e Ferno Lonate Pozzolo
10. Interruzione della circolazione sul binario pari fra Ferno Lonate Pozzolo e il bivio Sacconago
11. Interruzione della circolazione sul binario dispari fra Ferno Lonate Pozzolo e Malpensa Aeroporto
12. Interruzione della circolazione sul binario pari fra Malpensa Aeroporto e Ferno Lonate Pozzolo

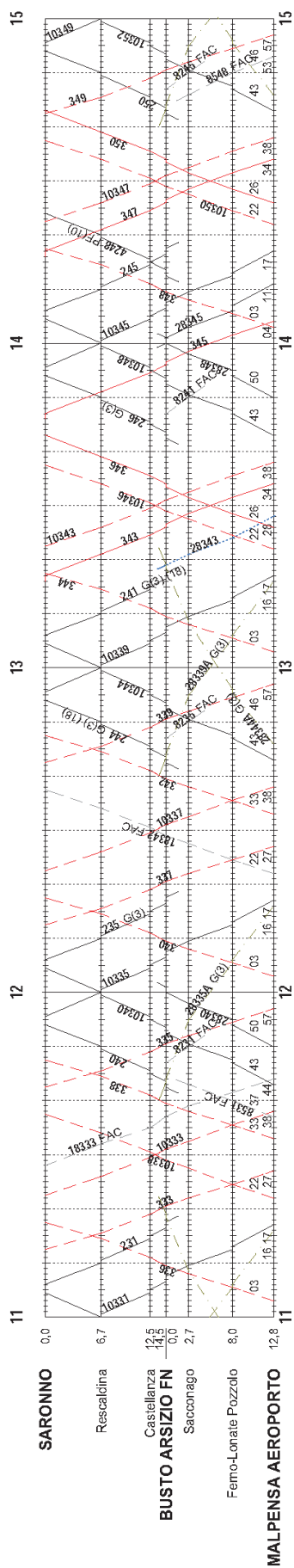
IPM	Localizzazione interruzione programmata per manutenzione
1	binario dispari fra Saronno e Rescaldina
2	binario pari fra Saronno e Rescaldina
3	binario dispari fra Rescaldina e Castellanza
4	binario pari fra Rescaldina e Castellanza
5	binario dispari fra Castellanza e Busto Arisizio
6	binario pari fra Castellanza e Busto Arsizio
7	binario dispari fra Busto Arsizio e bivio Sacconago
8	binario pari fra Busto Arsizio e bivio Sacconago
9	binario dispari fra bivio Sacconago e Ferno Lonate Pozzolo
10	binario pari fra bivio Sacconago e Ferno Lonate Pozzolo
11	binario dispari fra Ferno Lonate Pozzolo e Malpensa Aeroporto
12	binario pari fra Ferno Lonate Pozzolo e Malpensa Aeroporto

Tabella 7-1: Riassunto localizzazione delle interruzioni programmate per manutenzione sulla Saronno – Malpensa Aeroporto

Ogni interruzione quindi, prevede la sospensione della circolazione lungo il binario interessato dalle lavorazioni e la regolazione del transito dei treni a senso unico alternato sul binario adiacente rimasto disponibile: la circolazione avviene effettuando operazioni di incrocio in prossimità o in corrispondenza degli impianti ove la struttura d'orario lo renda necessario.

Gli incroci fra due corse circolanti in senso opposto sono operazioni da valutare cautamente definendo l'impianto dove hanno luogo, le corse coinvolte, quali hanno la precedenza e quali devono attendere. Per poter effettuare queste valutazioni è necessario consultare l'Orario Grafico il quale schematizza le tracce orarie delle corse circolanti nella tratta di interesse in una determinata fascia oraria.

3 ottobre 2013



Edizione Dicembre 2012

Figura 7-2: Estratto dell'Orario Grafico di FerrovieNord, linea Saronno – Malpensa Aeroporto tra le 11 e le 15.

Unità produzione tracce

Generalmente le lavorazioni impongono una riduzione di velocità sul binario adiacente rimasto in esercizio per consentire una maggiore sicurezza del personale presente in cantiere; la riduzione di velocità e l'estensione della limitazione di velocità dipendono strettamente dal tipo di lavorazione che in questo caso però non si conosce. Poiché la riduzione di velocità verrebbe applicata lungo un tratto la cui lunghezza risulterebbe una frazione della lunghezza totale dell'interruzione, si può considerare come ipotesi limite l'imposizione della limitazione di velocità lungo tutto il tratto interrotto: questo consente di creare uno scenario a favore di sicurezza. Infatti generalmente, la limitazione di velocità viene applicata sul binario adiacente quello interrotto nel solo tratto adiacente le lavorazioni. Così facendo, lo scenario senza riduzione di velocità sul binario adiacente il cantiere e lo scenario con riduzione di velocità per tutta l'estensione dell'interruzione definiscono due situazioni limite: si assume che gli effetti di una interruzione reale siano compresi fra quelli delle due situazioni limite.

La limitazione di velocità è stata ipotizzata a 60 km/h per tutta la lunghezza dell'interruzione anche se per poter scegliere una limitazione di velocità in modo più consapevole (sia in termini di velocità che di estensione della limitazione stessa) sarebbe necessario ancora una volta conoscere il tipo di lavorazione che si sta effettuando.

Date le considerazioni di cui sopra, per ogni interruzione è stato proposto lo scenario sia senza limitazione di velocità sul binario adiacente, sia lo scenario con limitazione di velocità a 60 km/h per tutta l'estensione dell'interruzione.

Come ampiamente illustrato in precedenza, *OpenTrack* genera al termine di ogni simulazione i file di output che contengono tutti i dati da analizzare. Per ogni scenario dunque, sono stati trasferiti i dati di output in forma di file di testo su un foglio di lavoro elettronico *Excel*. Utilizzando le funzionalità del programma, per ogni situazione si sono effettuate le seguenti analisi:

- Per ogni scenario di interruzione, una suddivisione in termini percentuali dei treni in arrivo nell'impianto in esame in base alla fascia di ritardo. Le fasce di ritardo prese in considerazione sono: 0' per i treni arrivati puntuali, 0'-1' per i treni aventi un ritardo fino a 1', 1'-2' per i treni aventi un ritardo compreso fra 1 e 2', 2'-3' per i treni aventi un ritardo compreso fra 2 e 3', 3'-4' per i treni aventi un ritardo compreso fra 3 e 4', 4'-5' per i treni aventi un ritardo compreso fra 4 e 5', >5' per i treni aventi un ritardo maggiore di 5'. La suddivisione è stata proposta per l'impianto di Saronno considerando i treni con numerazione pari (provenienti da Novara o da Malpensa) e per l'impianto di Malpensa aeroporto considerando i treni con numerazione dispari. Si sono considerati per ogni impianto i seguenti scenari: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata in esame e interruzione programmata con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.
- Per ogni scenario di interruzione, un confronto fra gli andamenti, durante l'arco della giornata, dell'indice di puntualità ai cinque minuti calcolato su base oraria riferito ad una sola direttrice

(IP5' h) e la rappresentazione del numero di treni che giungono nell'impianto in esame con un ritardo inferiore a 5'. Il confronto è stato proposto per l'impianto di Saronno considerando i soli treni con numerazione pari (provenienti da Novara o da Malpensa) e per l'impianto di Malpensa aeroporto considerando i soli treni con numerazione dispari. Si sono considerati per ogni impianto i seguenti scenari: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata in esame e interruzione programmata con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

IP5' h [%] è il rapporto percentuale fra il numero di corse appartenenti ad una fascia oraria, giunte all'impianto di interesse con un ritardo inferiore a 5' e il numero di corse totali appartenenti alla stessa fascia oraria, considerando una determinata direttrice.

- Per ogni scenario di interruzione, un confronto fra gli indici di puntualità ai cinque minuti calcolati su base giornaliera riferiti ad una sola direttrice (IP5'). Il confronto è stato proposto per l'impianto di Saronno considerando i soli treni in arrivo con numerazione pari e per l'impianto di Malpensa Aeroporto considerando i soli treni in arrivo con numerazione dispari. Si sono considerati per ogni impianto i seguenti scenari: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata in esame e interruzione programmata con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

IP5' [%] è il rapporto percentuale fra il numero di corse giunte all'impianto di interesse con un ritardo inferiore a 5' durante l'intera giornata e il numero di corse totali durante l'intera giornata, considerando una determinata direttrice.

- Per ogni scenario di interruzione, un confronto fra gli indici di puntualità ai cinque minuti calcolati su base giornaliera riferiti all'intera rete (IP5). Si sono considerati per ogni impianto i seguenti scenari: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata in esame e interruzione programmata con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

IP5 [%] è il rapporto percentuale fra il numero di corse giunte a destinazione con un ritardo inferiore a 5' durante l'intera giornata e il numero di corse totali durante l'intera giornata, considerando tutte le corse circolanti sull'intera rete.

Quest'ultimo confronto è fondamentale per prendere una decisione in merito alla fattibilità dell'interruzione stessa: infatti da questa analisi si evince chiaramente l'impatto che l'interruzione genera sull'IP5 dell'intera rete.

Si è ritenuto che il valore *IP5*, ossia l'indice di puntualità ai cinque minuti calcolato sull'intera rete, fosse il dato più significativo e pertanto si è scelto di porvi una maggiore attenzione.

Per il calcolo di questo valore sono state considerate tutte le direttrici e, attingendo dai dati forniti dall'SCCT (Sistema Controllo Circolazione Treni) sono stati desunti per ogni linea:

3 ottobre 2013

- Il numero di treni circolanti.
- L'IP5 giornaliero medio per linea calcolato su base mensile.

Utilizzando questi dati sono stati calcolati per ogni linea:

- Il numero di treni giunti a destinazione con un ritardo inferiore ai 5'.
- Il numero di treni giunti a destinazione con un ritardo superiore ai 5'.

Per ogni scenario di interruzione (con e senza riduzione di velocità) è stato conteggiato il numero di treni con un ritardo superiore a 5' per ogni linea. Successivamente si è valutata, linea per linea, la differenza di treni giunti in ritardo tra la condizione reale e lo scenario simulato con l'interruzione programmata. Così facendo, si viene a conoscenza dell'esatto numero di treni che proprio a causa dell'interruzione programmata in questione (e non per altre cause) arrivano a destinazione con un ritardo superiore ai 5'. In particolare, si effettua l'ipotesi che gli effetti dell'interruzione ricadano solamente sulle corse circolanti sulla linea Saronno – Novara/ Malpensa Aeroporto e non sulle altre direttrici.

Sommando linea per linea, per ogni scenario simulato, l'incremento i treni giunti in ritardo a causa dell'interruzione in esame, si ottiene l'incremento dei treni circolanti su tutta la rete che giungono con un ritardo superiore a 5' proprio a causa dell'interruzione in esame.

Infine, sottraendo il numero di treni dell'intera rete giunti in ritardo a causa dell'interruzione al numero totale di treni della rete arrivati in orario, si ottiene il numero di corse circolanti sull'intera rete che giungono entro i 5' di ritardo a destinazione negli scenari simulati.

Il rapporto percentuale fra il numero di treni giunti a destino con un ritardo inferiore a 5' con l'interruzione in vigore e il numero totale di treni circolanti sull'intera rete fornisce l' IP5 riferito all'intera rete quando è presente l'interruzione oggetto di studio.

Per ogni interruzione quindi, è stato confrontato il valore di IP5 reale riferito all'intera rete e i nuovi valori di IP5 calcolati quando è in vigore l'interruzione di binario con e senza limitazione di velocità sul binario attiguo.

3 ottobre 2013

	n° treni circolanti	IP5 [%]	n° treni rit < 5'	n° treni rit > 5'	n° treni rit > 5' IPM	differenza	n° treni rit > 5' IPM + r.v.	differenza
MI - NO	36	75,65%	27	9	5	-4	11	2
MI - MXP	80	79,20%	63	17	29	12	35	18
BA - MXP	51	72,53%	37	14	30	16	35	21
BU - MXP	14	86,16%	12	2	3	1	3	1
MI - AS	37	65,42%	24	13	13	0	13	0
MI - LA	39	80,02%	31	8	8	0	8	0
BA - MA	30	80,65%	24	6	6	0	6	0
MI - VA	31	84,13%	26	5	5	0	5	0
BA - SA	64	84,37%	54	10	10	0	10	0
MI - CO	58	85,63%	50	8	8	0	8	0
MI - CM	66	86,50%	57	9	9	0	9	0
SA - SE	68	87,17%	59	9	9	0	9	0
MI - MA	11	89,74%	10	1	1	0	1	0
MI - SA	77	89,76%	69	8	8	0	8	0
totale	662	82,23%	544			26		43

Tabella 7-2: Esempio di foglio elettronico utilizzato per il calcolo della caduta di IP5 riferito all'intera rete per una determinata interruzione.

7.2.1. Situazione generale senza alcuna interruzione programmata di binario

Per poter meglio valutare gli scenari dovuti alle interruzioni parziali di binario è necessario avere una visione completa del tratto in esame quando non è vigente alcuna interruzione programmata sia per l'impianto di Saronno che per l'impianto di Malpensa Aeroporto.

7.2.1.1. L'impianto di Saronno

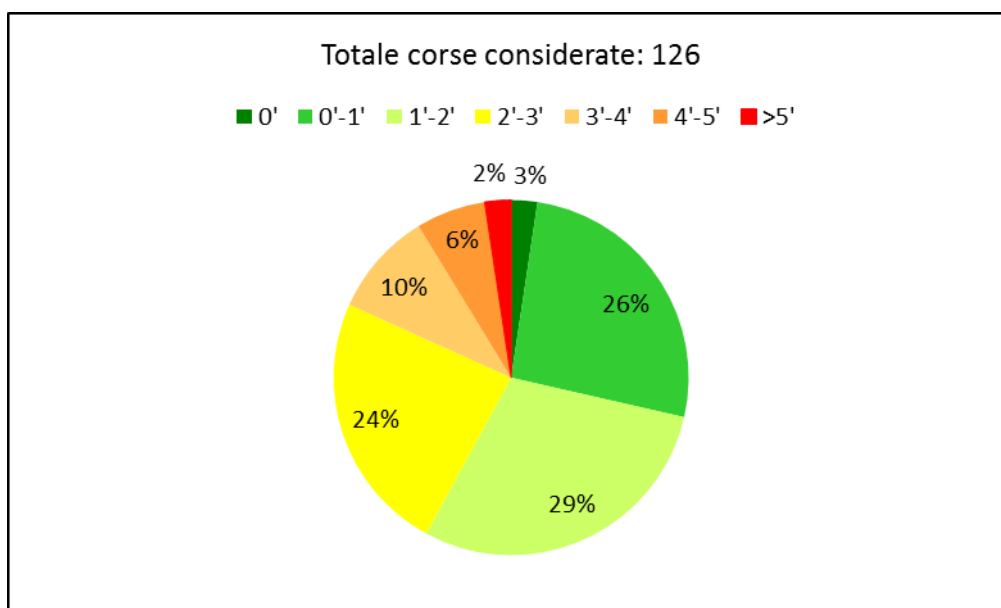


Grafico 7-1: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari, divisi per fascia di ritardo, quando non sono in vigore interruzioni in linea.

La suddivisione per fasce orarie dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari, evidenzia questa situazione:

- Treni arrivati con un ritardo inferiore a 5': 98%, ossia 123 corse su 126.
- Treni arrivati con un ritardo inferiore a 3': 82%, ossia 103 corse su 126.

3 ottobre 2013

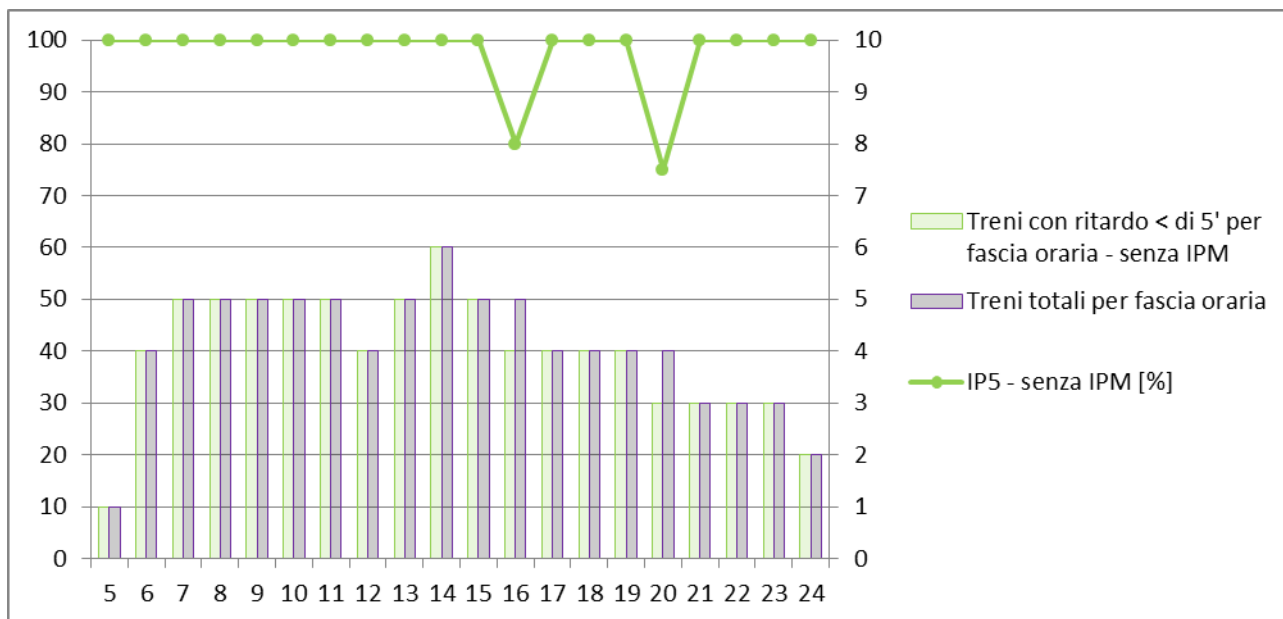


Grafico 7-2: In alto, andamento durante la giornata dell'IP5' h nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari. In basso, la rappresentazione del numero totale di treni in arrivo a Saronno con numerazione pari e quelli in arrivo a Saronno con numerazione pari con un ritardo inferiore a 5 minuti, quando non sono vigenti interruzioni in linea.

I treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari giungono durante la giornata quasi tutti con un ritardo inferiore a 5' salvo due eccezionalità inerenti a due treni (uno nella fascia oraria delle 16 e uno della fascia oraria delle 20); si tratta comunque di ritardi che eccedono di poco i 5' di ritardo facendo abbassare però l'IP5 delle due fasce orarie da 100% a 80% e a 75% rispettivamente.

7.2.1.2. L'impianto di Malpensa Aeroporto

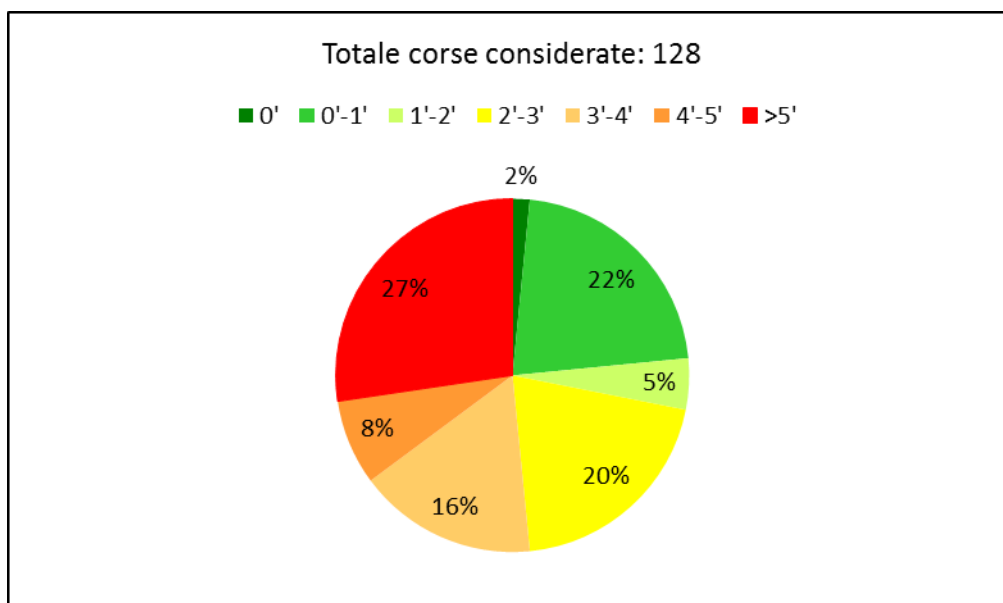


Grafico 7-3: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari, divisi per fascia di ritardo, quando non sono in vigore interruzioni in linea.

La suddivisione per fasce orarie dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari, evidenzia questa situazione:

- Treni arrivati con un ritardo inferiore a 5': 73%, ossia 93 corse su 128.
- Treni arrivati con un ritardo inferiore a 3': 49%, ossia 63 corse su 128.

3 ottobre 2013

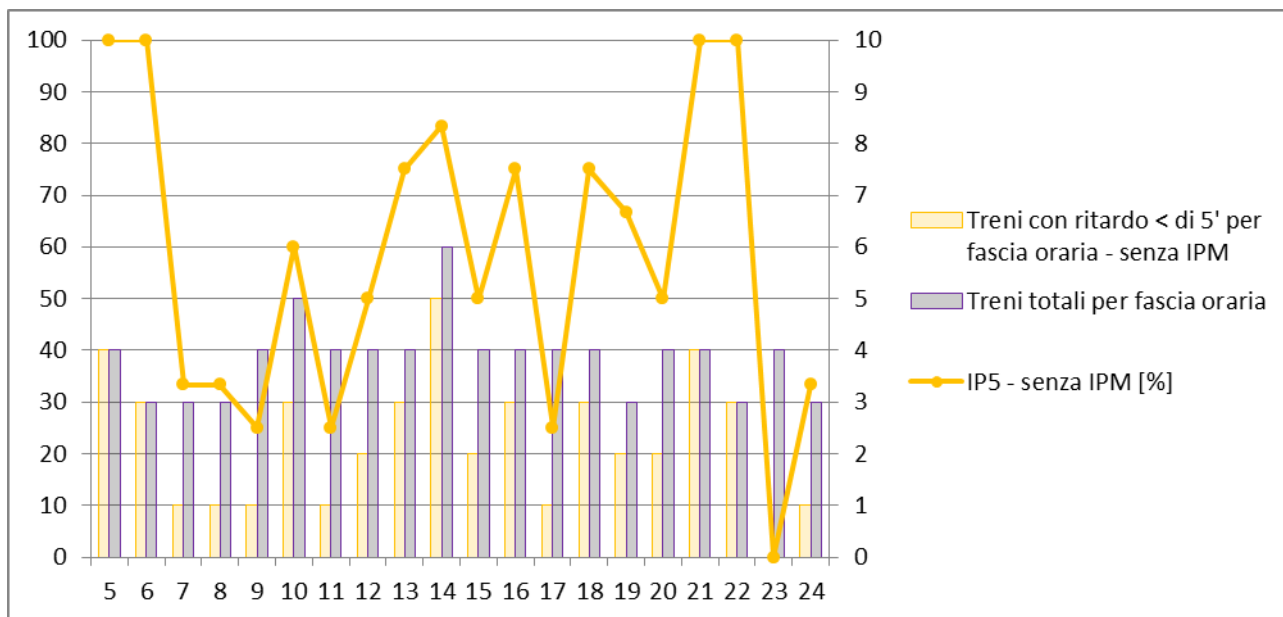


Grafico 7-4: In alto, andamento durante la giornata dell'IP5' h nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari. In basso, la rappresentazione del numero totale di treni in arrivo a Malpensa Aeroporto con numerazione dispari e quelli in arrivo a Malpensa Aeroporto con numerazione dispari con un ritardo inferiore a 5 minuti, quando non sono vigenti interruzioni in linea.

I treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari giungono durante la giornata con ritardi che talvolta superano i 5' soprattutto nelle fasce orarie di punta del mattino e della sera. Durante le ore centrali della giornata l'IP5 e conseguentemente il numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore ai 5' registrano un aumento. Questa osservazione avvalorerebbe l'intenzione di voler individuare la fascia oraria diurna per interruzioni fra le 10:00 e le 16:00, momento della giornata in cui l'IP5 si attesta intorno a valori migliori. I ritardi registrati nella maggioranza dei casi eccedono di poco i 5' e l'indice IP5 per fascia oraria rimane sempre al di sopra del 50% (fatte salve le ore di punta del mattino e della sera).

7.2.1.3. Considerazioni finali

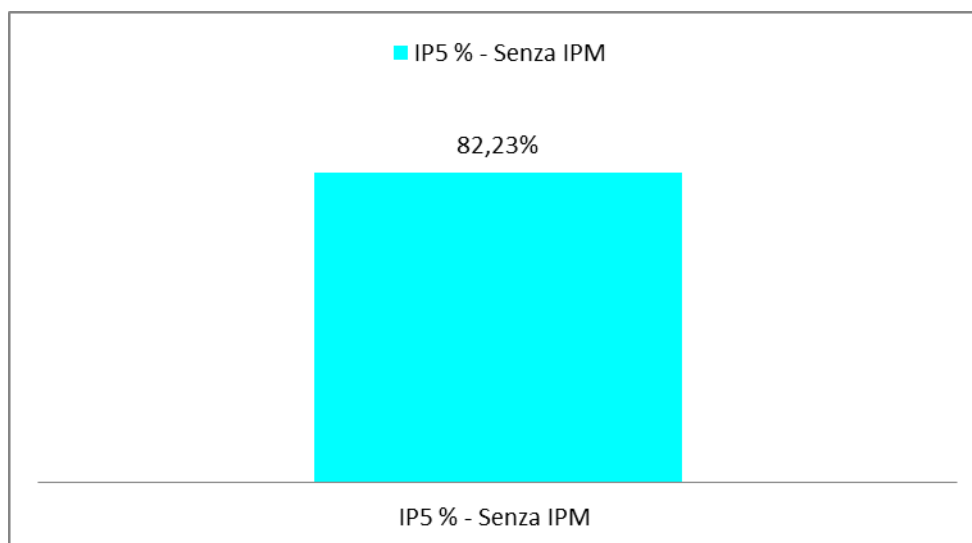


Grafico 7-5: Rappresentazione dell'IP5 riferito all'intera rete quando non sono in vigore interruzioni sulla tratta di studio.

L'IP5 medio per l'intera rete si attesta al 82,23%. Le interruzioni programmate che seguono avranno un impatto sull'intera rete tanto più grande quanto più grande sarà la diminuzione di questo valore.

7.3. Scenari di interruzione

7.3.1. IPM 1: interruzione della circolazione sul binario dispari tra Saronno e Rescaldina

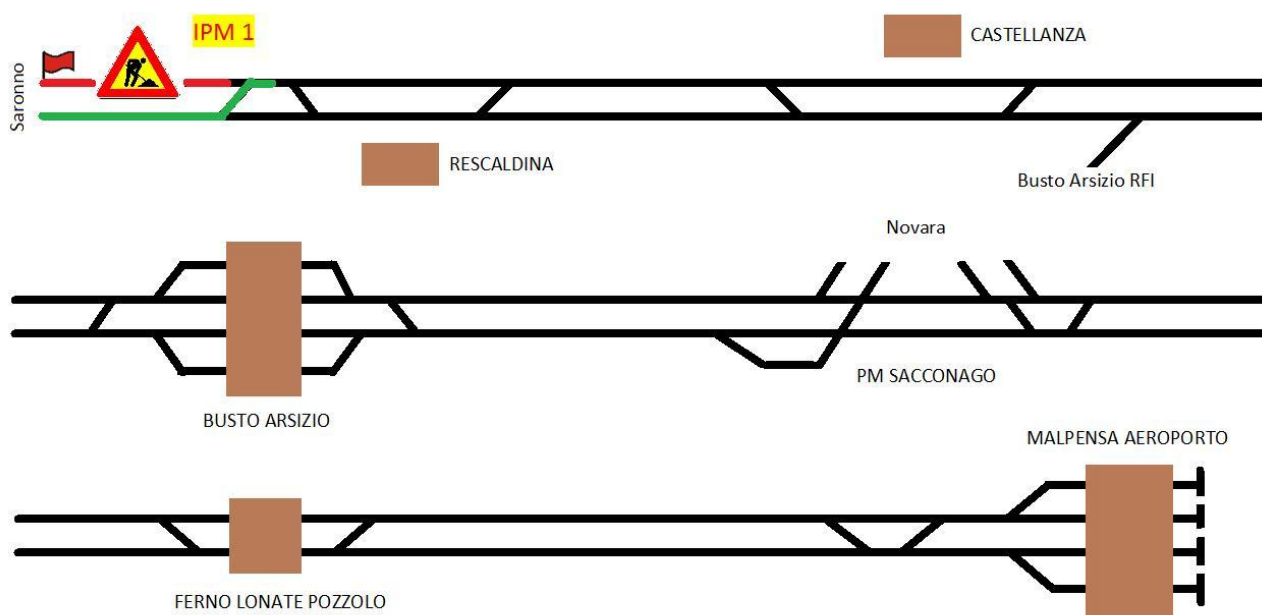


Figura 7-3: Rappresentazione dell'interruzione della circolazione sul binario dispari tra Saronno e Rescaldina.

L'interruzione programmata 1 prevede la sospensione della circolazione sul binario dispari fra i segnali di protezione di Saronno e i segnali di protezione di Rescaldina e la circolazione a senso alternato di tutti i treni sul binario pari rimasto in esercizio. L'interruzione si estende per 5170 m ed è in vigore dalle 10:00 alle 16:00.

L'analisi dei seguenti dati è stato riportato nell'allegato 4:

- La suddivisione in termini percentuali dei treni in arrivo nell'impianto in esame in base alla fascia di ritardo quando è presente l'interruzione programmata 1 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e solo le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.
- Il confronto fra gli andamenti durante l'arco della giornata *dell'indice di puntualità ai cinque minuti calcolato su base oraria riferito ad un solo gruppo di corse (IP5' h)* e il confronto del numero di treni che giungono nell'impianto in esame con un ritardo inferiore a 5', senza interruzioni in linea e quando è presente l'interruzione programmata 1 con e senza riduzione

di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.

- Il confronto fra gli *indici di puntualità ai cinque minuti calcolati su base giornaliera riferiti ad un solo gruppo di corse (IP5')*, senza interruzioni in linea e quando è presente l'interruzione programmata 1 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.

7.3.1.1. IP5 riferito all'intera rete

Qui di seguito viene proposto il confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete calcolati sull'intera giornata secondo i diversi scenari. Gli scenari considerati sono: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 1 e interruzione programmata 1 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

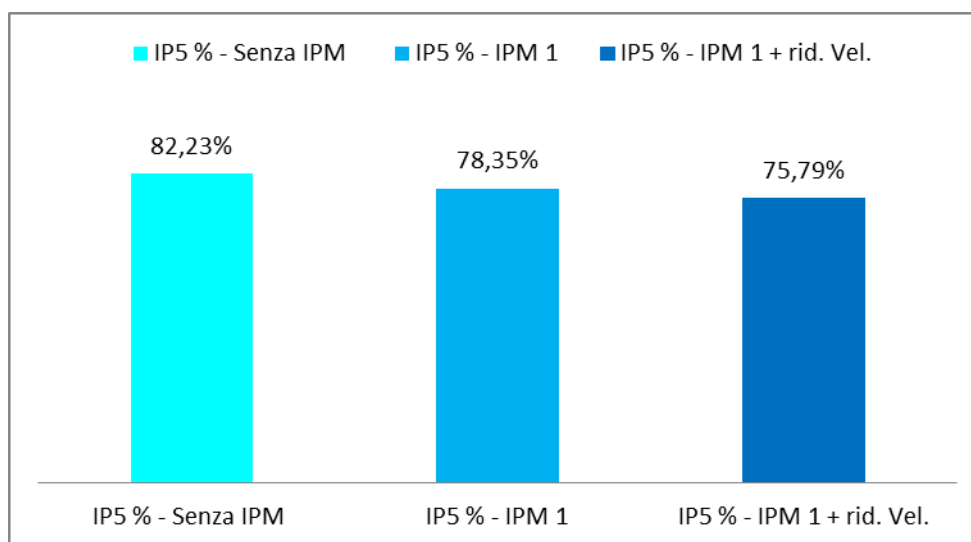


Grafico 7-6: Confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete, secondo diversi scenari: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 1 e interruzione programmata 1 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

Il confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete per diversi scenari evidenzia quanto segue:

- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario senza interruzioni programmate: 82,23%
- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario che prevede l'interruzione programmata 1: 78,35% con una flessione del 3,88% rispetto allo scenario senza interruzione.
- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario che prevede l'interruzione programmata 1 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo: 75,79% con una flessione del 6,44%

rispetto allo scenario senza interruzione e una flessione del 2,56% rispetto allo scenario con la sola interruzione programmata 1 senza riduzione della velocità sul binario attiguo.

7.3.1.2. Gli altri dati

L'osservazione dei dati tabulati in allegato 4 mostra come le corse risentono della circolazione a senso unico alternato proprio perché la struttura di orario comporta per esse attese aggiuntive nell'impianto di Rescaldina e di Saronno dove vengono effettuate le operazioni di incrocio. L'incrocio a Rescaldina si traduce nell'attesa da parte delle corse pari dei treni dispari che percorrono il binario rimasto in esercizio, mentre l'incrocio a Saronno comporta il viceversa.

Durante l'interruzione, la successione dei treni nei due sensi di marcia che percorrono l'unico binario rimasto in esercizio generano ripercussioni a catena con un mutuo scambio di ritardi dovuti alle attese del treno incrociante.

I treni dispari in particolare risultano penalizzati rispetto a quelli pari perché affrontano il percorso deviato per poter superare il tratto interessato dalle lavorazioni.

L'imposizione di una limitazione di velocità a 60 km/h sul binario adiacente le lavorazioni causa dei ritardi aggiuntivi dovuti all'aumento dei tempi di percorrenza: questo amplifica gli effetti negativi esposti precedentemente.

I grafici che espongono le rappresentazioni sul totale dei treni in arrivo negli impianti, divisi per fascia oraria, avvalorano quanto detto in precedenza in particolare:

- Corse con numerazione pari in arrivo nell'impianto di Saronno con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame: 14% (contro il 2% dello scenario senza interruzione), ossia 18 treni su 126.
- Corse con numerazione pari in arrivo nell'impianto di Saronno con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame e la riduzione di velocità sul binario adiacente: 22% (contro il 2% dello scenario senza interruzione e il 14% dello scenario con l'interruzione senza limitazione di velocità), ossia 28 treni su 126.
- Corse con numerazione dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame: 37% (contro il 27% dello scenario senza interruzione), ossia 47 treni su 128.
- Corse con numerazione dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame e la riduzione di velocità sul binario adiacente: 38% (contro il 27% dello scenario senza interruzione e il 37% dello scenario con l'interruzione senza limitazione di velocità), ossia 49 treni su 128.

Quanto detto in precedenza, è confermato anche dal confronto degli indici di puntualità ai 5' calcolati su base giornaliera riferiti ad una sola direttrice (*IP5*); in particolare si osserva che:

- L'*IP5*' calcolato considerando solo le corse pari in arrivo nell'impianto di Saronno:

3 ottobre 2013

- Scenario con l'interruzione in esame: 86,51% (contro il 97,62% dello scenario senza interruzione)
- Scenario con l'interruzione in esame e la limitazione di velocità sul binario attiguo: 77,78% (contro il 97,62% dello scenario senza interruzione e il 86,51% dello scenario con l'interruzione programmata in esame senza limitazione di velocità).
- L'*IP5'* calcolato considerando solo le corse dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto:
 - Scenario con l'interruzione in esame: 62,50% (contro il 72,66% dello scenario senza interruzione)
 - Scenario con l'interruzione in esame e la limitazione di velocità sul binario attiguo: 61,72% (contro il 72,66% dello scenario senza interruzione e il 62,50% dello scenario con l'interruzione programmata in esame senza limitazione di velocità)

Dato che la stazione di termine corsa non si colloca in prossimità del cantiere, le corse hanno la possibilità di un recupero parziale dei ritardi maturati ed un riallineamento alla traccia oraria pianificata per ciascun treno. Generalmente infatti, più la stazione di termine corsa risulta distante dal punto di installazione del cantiere e più i ritardi maturati dalla corsa verranno recuperati almeno in parte: questo si verifica grazie alla struttura di orario che contempla un allungamento della traccia oraria del 7% consentendo pertanto alcuni margini di recupero.

Per limitare il disagio derivante dalle interruzioni nei confronti dei passeggeri in funzione della domanda di trasporto, si procede agevolando i treni con numerazione pari al mattino e con numerazione dispari nel pomeriggio; questo non determina un miglioramento della puntualità ma solo una redistribuzione del ritardo, penalizzando così le corse con un minor numero di passeggeri a bordo. Tuttavia, non sempre è possibile l'agevolazione delle corse secondo il criterio sopracitato: la struttura di orario rende preferibile agevolare diversamente le corse nel tentativo di minimizzare il ritardo complessivo.

Osservando l'andamento dell'indice di puntualità ai 5' calcolati su base oraria per un solo gruppo di corse (*IP5' h*) in arrivo in un dato impianto, si ha un recupero di puntualità nelle ore centrali della giornata rispetto alle fasce orarie di punta: questo perché si ha una riduzione dell'offerta legata ad alcuni servizi e quindi gli effetti descritti in precedenza interessano un numero inferiore di corse.

7.3.2. IPM 2: Interruzione sul binario pari fra Rescaldina e Saronno

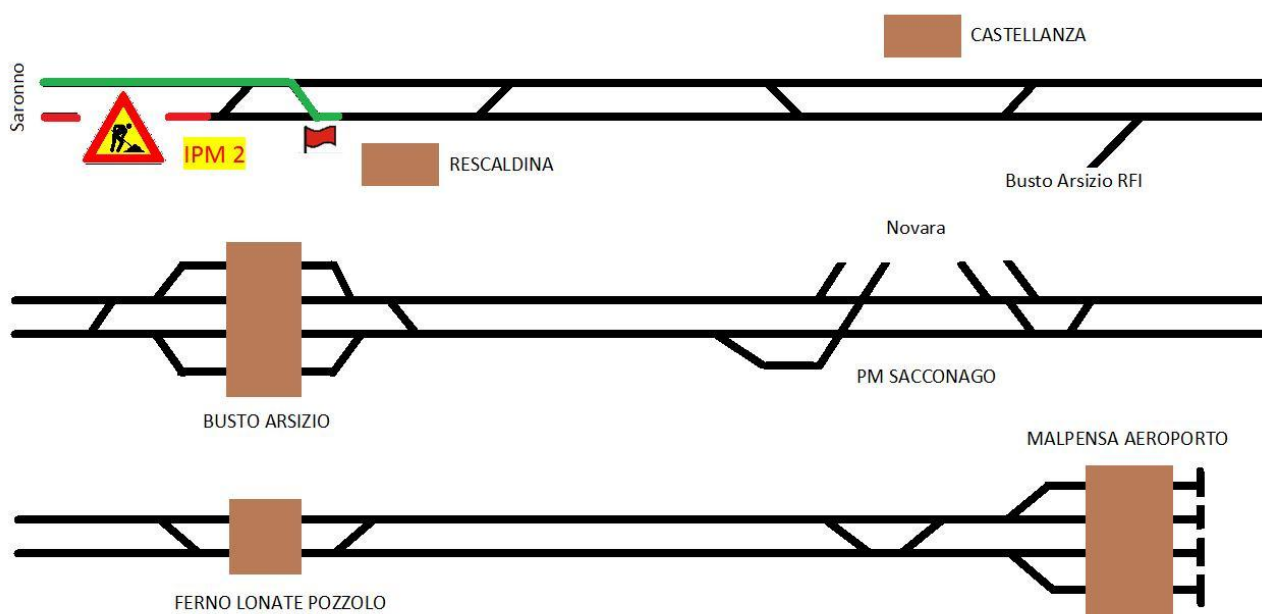


Figura 7-4: Rappresentazione dell'interruzione della circolazione sul binario pari tra Rescaldina e Saronno.

L'interruzione programmata 2 prevede la sospensione della circolazione sul binario pari fra i segnali di protezione di Rescaldina e i segnali di protezione di Saronno e la circolazione a senso alternato di tutti i treni sul binario dispari rimasto in esercizio. L'interruzione si estende per 5170 m ed è in vigore dalle 10:00 alle 16:00.

L'analisi dei seguenti dati è stato riportato nell'allegato 5:

- La suddivisione in termini percentuali dei treni in arrivo nell'impianto in esame in base alla fascia di ritardo quando è presente l'interruzione programmata 2 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e solo le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.
- Il confronto fra gli andamenti durante l'arco della giornata *dell'indice di puntualità ai cinque minuti calcolato su base oraria riferito ad un solo gruppo di corse (IP5' h)* e la rappresentazione del numero di treni che giungono nell'impianto in esame con un ritardo inferiore a 5', senza interruzioni in linea e quando è presente l'interruzione programmata 2 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.

- Il confronto fra gli *indici di puntualità ai cinque minuti calcolati su base giornaliera riferiti ad un solo gruppo di corse (IP5')*, senza interruzioni in linea e quando è presente l'interruzione programmata 2 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.

7.3.2.1. IP5 riferito all'intera rete

Qui di seguito viene proposto il confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete calcolati sull'intera giornata secondo i diversi scenari. Gli scenari considerati sono: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 2 e interruzione programmata 2 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

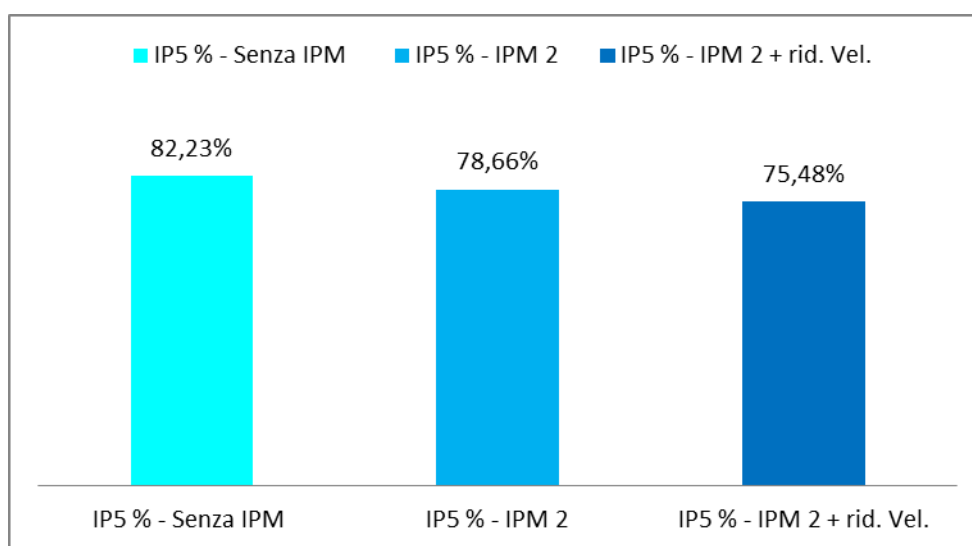


Grafico 7-7: Confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete, secondo diversi scenari: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 2 e interruzione programmata 2 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

Il confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete per diversi scenari evidenzia quanto segue:

- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario senza interruzioni programmate: 82,23%
- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario che prevede l'interruzione programmata 2: 78,66% con una flessione del 3,57% rispetto allo scenario senza interruzione.
- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario che prevede l'interruzione programmata 2 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo: 75,48% con una flessione del 6,75% rispetto allo scenario senza interruzione e una flessione del 3,18% rispetto allo scenario con la sola interruzione programmata 2 senza riduzione della velocità sul binario attiguo.

7.3.2.2. Gli altri dati

L'osservazione dei dati tabulati in allegato 5 mostra come le corse risentono della circolazione a senso unico alternato proprio perché la struttura di orario comporta per esse attese aggiuntive nell'impianto di Rescaldina e di Saronno dove vengono effettuate le operazioni di incrocio. L'incrocio a Rescaldina si traduce nell'attesa da parte delle corse pari dei treni dispari che percorrono il binario rimasto in esercizio, mentre l'incrocio a Saronno comporta il viceversa.

Durante l'interruzione, la successione dei treni nei due sensi di marcia che percorrono l'unico binario rimasto in esercizio generano ripercussioni a catena con un mutuo scambio di ritardi dovuti alle attese del treno incrociante.

I treni pari in particolare risultano penalizzati rispetto a quelli dispari perché affrontano il percorso deviato per poter superare il tratto interessato dalle lavorazioni.

L'imposizione di una limitazione di velocità a 60 km/h sul binario adiacente le lavorazioni causa dei ritardi aggiuntivi dovuti all'aumento dei tempi di percorrenza: questo amplifica gli effetti negativi esposti precedentemente.

I grafici che espongono le rappresentazioni sul totale dei treni in arrivo negli impianti, divisi per fascia oraria, avvalorano quanto detto in precedenza in particolare:

- Corse con numerazione pari in arrivo nell'impianto di Saronno con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame: 14% (contro il 2% dello scenario senza interruzione), ossia 18 treni su 126.
- Corse con numerazione pari in arrivo nell'impianto di Saronno con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame e la riduzione di velocità sul binario adiacente: 25% (contro il 2% dello scenario senza interruzione e il 14% dello scenario con l'interruzione senza limitazione di velocità), ossia 32 treni su 126.
- Corse con numerazione dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame: 34% (contro il 27% dello scenario senza interruzione), ossia 44 treni su 128.
- Corse con numerazione dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame e la riduzione di velocità sul binario adiacente: 38% (contro il 27% dello scenario senza interruzione e il 34% dello scenario con l'interruzione senza limitazione di velocità), ossia 49 treni su 128.

Quanto detto in precedenza, è confermato anche dal confronto degli indici di puntualità ai 5' calcolati su base giornaliera riferiti ad una sola direttrice (*IP5*); in particolare si osserva che:

- L'*IP5*' calcolato considerando solo le corse pari in arrivo nell'impianto di Saronno:
 - Scenario con l'interruzione in esame: 85,60% (contro il 97,62% dello scenario senza interruzione)

- Scenario con l'interruzione in esame e la limitazione di velocità sul binario attiguo: 74,60% (contro il 97,62% dello scenario senza interruzione e il 85,60% dello scenario con l'interruzione programmata in esame senza limitazione di velocità).
- L'*IP5'* calcolato considerando solo le corse dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto:
 - Scenario con l'interruzione in esame: 66,15% (contro il 72,66% dello scenario senza interruzione)
 - Scenario con l'interruzione in esame e la limitazione di velocità sul binario attiguo: 61,72% (contro il 72,66% dello scenario senza interruzione e il 66,15% dello scenario con l'interruzione programmata in esame senza limitazione di velocità)

Dato che la stazione di termine corsa non si colloca in prossimità del cantiere, le corse hanno la possibilità di un recupero parziale dei ritardi maturati ed un riallineamento alla traccia oraria pianificata per ciascun treno. Generalmente infatti, più la stazione di termine corsa risulta distante dal punto di installazione del cantiere e più i ritardi maturati dalla corsa verranno recuperati almeno in parte: questo si verifica grazie alla struttura di orario che contempla un allungamento della traccia oraria del 7% consentendo pertanto alcuni margini di recupero.

Per limitare il disagio derivante dalle interruzioni nei confronti dei passeggeri in funzione della domanda di trasporto, si procede agevolando i treni con numerazione pari al mattino e con numerazione dispari nel pomeriggio; questo non determina un miglioramento della puntualità ma solo una redistribuzione del ritardo, penalizzando così le corse con un minor numero di passeggeri a bordo. Tuttavia, non sempre è possibile l'agevolazione delle corse secondo il criterio sopracitato: la struttura di orario rende preferibile agevolare diversamente le corse nel tentativo di minimizzare il ritardo complessivo.

Osservando l'andamento dell'indice di puntualità ai 5' calcolati su base oraria per un solo gruppo di corse (*IP5' h*) in arrivo in un dato impianto, si ha un recupero di puntualità nelle ore centrali della giornata rispetto alle fasce orarie di punta: questo perché si ha una riduzione dell'offerta legata ad alcuni servizi e quindi gli effetti descritti in precedenza interessano un numero inferiore di corse.

Gli effetti dell'interruzione del binario pari fra Rescaldina e Saronno sono simili a quelli che si ottengono interrompendo il binario dispari (interruzione numero 1)

7.3.3. IPM 3: interruzione della circolazione sul binario dispari fra Rescaldina e Castellanza

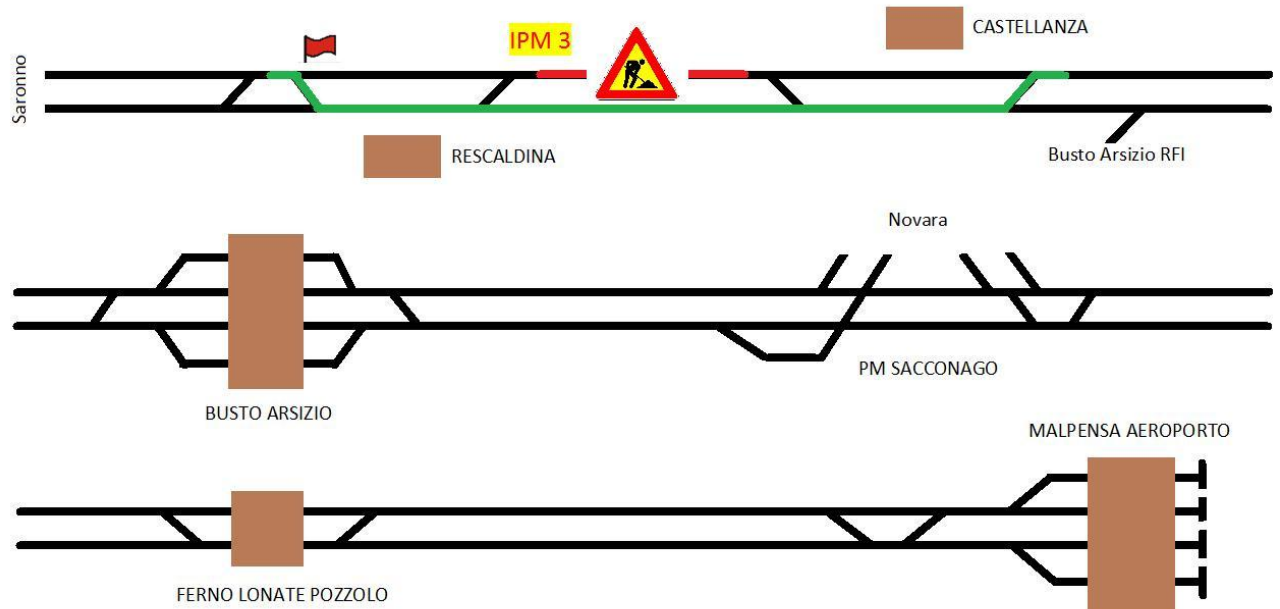


Figura 7-5: Rappresentazione dell'interruzione della circolazione sul binario dispari tra Rescaldina e Castellanza.

L'interruzione programmata 3 prevede la sospensione della circolazione sul binario dispari fra i segnali di protezione di Rescaldina e i segnali di protezione di Castellanza e la circolazione a senso alternato di tutti i treni sul binario pari rimasto in esercizio. L'interruzione si estende per 3822 m ed è in vigore dalle 10:00 alle 16:00. In particolare, a causa della localizzazione dei deviatori, i treni dispari iniziano la marcia su binario di destra al loro ingresso nell'impianto di Rescaldina e lo terminano in uscita dall'impianto di Castellanza: così circolando, effettuano straordinariamente tutti servizio viaggiatori sul binario I di Rescaldina e sul binario II di Castellanza allungando così il tratto destinato alla circolazione a senso alternato che raggiunge l'estensione di 6.5 km circa.

L'analisi dei seguenti dati è stato riportato nell'allegato 6:

- La suddivisione in termini percentuali dei treni in arrivo nell'impianto in esame in base alla fascia di ritardo quando è presente l'interruzione programmata 3 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e solo le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.
- Il confronto fra gli andamenti durante l'arco della giornata *dell'indice di puntualità ai cinque minuti calcolato su base oraria riferito ad un solo gruppo di corse (IP5' h)* e la

rappresentazione del numero di treni che giungono nell'impianto in esame con un ritardo inferiore a 5', senza interruzioni in linea e quando è presente l'interruzione programmata 3 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.

- Il confronto fra gli *indici di puntualità ai cinque minuti calcolati su base giornaliera riferiti ad un solo gruppo di corse (IP5')*, senza interruzioni in linea e quando è presente l'interruzione programmata 3 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.

7.3.3.1. IP5 riferito all'intera rete

Qui di seguito viene proposto il confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete calcolati sull'intera giornata secondo i diversi scenari. Gli scenari considerati sono: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 3 e interruzione programmata 3 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

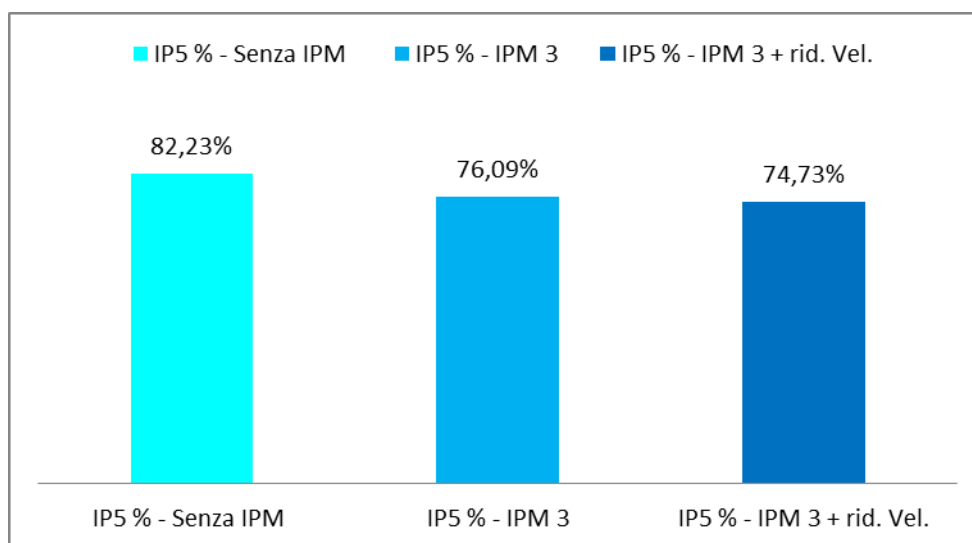


Grafico 7-8: Confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete, secondo diversi scenari: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 3 e interruzione programmata 3 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

Il confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete per diversi scenari evidenzia quanto segue:

- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario senza interruzioni programmate: 82,23%
- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario che prevede l'interruzione programmata 3: 76,09% con una flessione del 6,14% rispetto allo scenario senza interruzione.

- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario che prevede l'interruzione programmata 3 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo: 74,73% con una flessione del 7,50% rispetto allo scenario senza interruzione e una flessione del 1,36% rispetto allo scenario con la sola interruzione programmata 3 senza riduzione della velocità sul binario attiguo.

7.3.3.2. Gli altri dati

L'osservazione dei dati tabulati in allegato 6 mostra come le corse risentono della circolazione a senso unico alternato proprio perché la struttura di orario comporta per esse attese aggiuntive nell'impianto di Rescaldina e di Castellanza dove vengono effettuate le operazioni di incrocio. L'incrocio a Rescaldina si traduce nell'attesa ai segnali di protezione da parte delle corse dispari dei treni pari che percorrono il binario rimasto in esercizio, mentre l'incrocio a Castellanza comporta il viceversa.

Durante l'interruzione, la successione dei treni nei due sensi di marcia che percorrono l'unico binario rimasto in esercizio generano ripercussioni a catena con un mutuo scambio di ritardi dovuti alle attese del treno incrociante.

Le conseguenze sono amplificate dal fatto che la circolazione a senso unico alternato, a causa della localizzazione dei deviatori, si realizza dall'ingresso nell'impianto di Rescaldina fino all'uscita dell'impianto di Castellanza e quindi interessante un tratto molto più lungo rispetto ai 4 km circa del cantiere (quasi 7 km); il servizio viaggiatori viene effettuato sempre sul binario I di Rescaldina e sul binario II di Castellanza.

I treni dispari in particolare risultano penalizzati rispetto a quelli pari perché affrontano il percorso deviato per poter superare il tratto interessato dalle lavorazioni.

L'imposizione di una limitazione di velocità a 60 km/h sul binario adiacente le lavorazioni causa dei ritardi aggiuntivi dovuti all'aumento dei tempi di percorrenza: questo amplifica gli effetti negativi esposti precedentemente. In ogni caso, l'imposizione della limitazione di velocità riguarda solo i 4 km circa di estensione di interruzione e non l'intero tratto a semplice binario (6,5 km): questo comporta un contenimento degli effetti negativi.

I grafici che espongono le rappresentazioni sul totale dei treni in arrivo negli impianti, divisi per fascia oraria, avvalorano quanto detto in precedenza in particolare:

- Corse con numerazione pari in arrivo nell'impianto di Saronno con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame: 14% (contro il 2% dello scenario senza interruzione), ossia 18 treni su 126.
- Corse con numerazione pari in arrivo nell'impianto di Saronno con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame e la riduzione di velocità sul binario adiacente: 22% (contro il 2% dello scenario senza interruzione e il 14% dello scenario con l'interruzione senza limitazione di velocità), ossia 28 treni su 126.
- Corse con numerazione dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame: 38% (contro il 27% dello scenario senza interruzione), ossia 49 treni su 128.

- Corse con numerazione dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame e la riduzione di velocità sul binario adiacente: 39% (contro il 27% dello scenario senza interruzione e il 38% dello scenario con l'interruzione senza limitazione di velocità), ossia 50 treni su 128.

Quanto detto in precedenza, è confermato anche dal confronto degli indici di puntualità ai 5' calcolati su base giornaliera riferiti ad una sola direttrice (*IP5*); in particolare si osserva che:

- L'*IP5*' calcolato considerando solo le corse pari in arrivo nell'impianto di Saronno:
 - Scenario con l'interruzione in esame: 80,95% (contro il 97,62% dello scenario senza interruzione)
 - Scenario con l'interruzione in esame e la limitazione di velocità sul binario attiguo: 76,19% (contro il 97,62% dello scenario senza interruzione e il 80,95% dello scenario con l'interruzione programmata in esame senza limitazione di velocità).
- L'*IP5*' calcolato considerando solo le corse dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto:
 - Scenario con l'interruzione in esame: 61,72% (contro il 72,66% dello scenario senza interruzione)
 - Scenario con l'interruzione in esame e la limitazione di velocità sul binario attiguo: 60,94% (contro il 72,66% dello scenario senza interruzione e il 61,72% dello scenario con l'interruzione programmata in esame senza limitazione di velocità)

Dato che la stazione di termine corsa non si colloca in prossimità del cantiere, le corse hanno la possibilità di un recupero parziale dei ritardi maturati ed un riallineamento alla traccia oraria pianificata per ciascun treno. Generalmente infatti, più la stazione di termine corsa risulta distante dal punto di installazione del cantiere e più i ritardi maturati dalla corsa verranno recuperati almeno in parte: questo si verifica grazie alla struttura di orario che contempla un allungamento della traccia oraria del 7% consentendo pertanto alcuni margini di recupero.

Per limitare il disagio derivante dalle interruzioni nei confronti dei passeggeri in funzione della domanda di trasporto, si procede agevolando i treni con numerazione pari al mattino e con numerazione dispari nel pomeriggio; questo non determina un miglioramento della puntualità ma solo una redistribuzione del ritardo, penalizzando così le corse con un minor numero di passeggeri a bordo. Tuttavia, non sempre è possibile l'agevolazione delle corse secondo il criterio sopracitato: la struttura di orario rende preferibile agevolare diversamente le corse nel tentativo di minimizzare il ritardo complessivo.

Osservando l'andamento dell'indice di puntualità ai 5' calcolati su base oraria per un solo gruppo di corse (*IP5' h*) in arrivo in un dato impianto, si ha un recupero di puntualità nelle ore centrali della

3 ottobre 2013

giornata rispetto alle fasce orarie di punta: questo perché si ha una riduzione dell'offerta legata ad alcuni servizi e quindi gli effetti descritti in precedenza interessano un numero inferiore di corse.

7.3.4. IPM 4: interruzione della circolazione sul binario pari fra Castellanza e Rescaldina

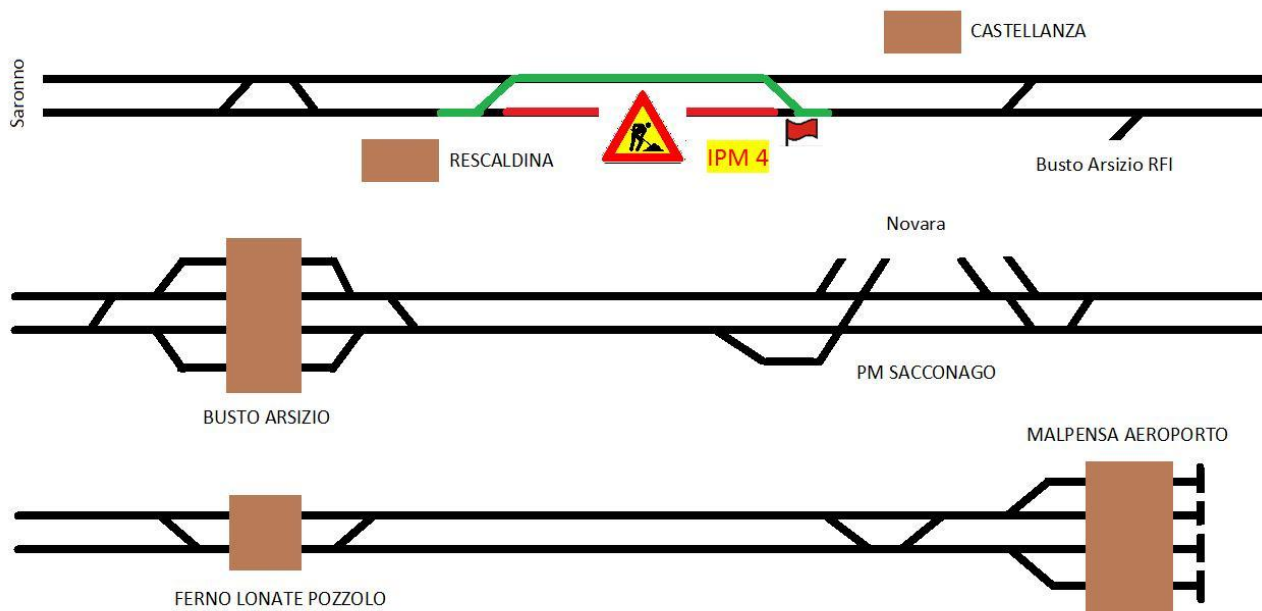


Figura 7-6: Rappresentazione dell'interruzione della circolazione sul binario pari tra Castellanza e Rescaldina.

L'interruzione programmata 4 prevede la sospensione della circolazione sul binario pari fra i segnali di protezione di Castellanza e i segnali di protezione di Rescaldina e la circolazione a senso alternato di tutti i treni sul binario dispari rimasto in esercizio. L'interruzione si estende per 3822 m ed è in vigore dalle 10:00 alle 16:00.

L'analisi dei seguenti dati è stato riportato nell'allegato 7:

- La suddivisione in termini percentuali dei treni in arrivo nell'impianto in esame in base alla fascia di ritardo quando è presente l'interruzione programmata 4 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e solo le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.
- Il confronto fra gli andamenti durante l'arco della giornata *dell'indice di puntualità ai cinque minuti calcolato su base oraria riferito ad un solo gruppo di corse (IP5' h)* e la rappresentazione del numero di treni che giungono nell'impianto in esame con un ritardo inferiore a 5', senza interruzioni in linea e quando è presente l'interruzione programmata 4 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in

arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.

- Il confronto fra gli *indici di puntualità ai cinque minuti calcolati su base giornaliera riferiti ad un solo gruppo di corse (IP5')*, senza interruzioni in linea e quando è presente l'interruzione programmata 4 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.

7.3.4.1. IP5 riferito all'intera rete

Qui di seguito viene proposto il confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete calcolati sull'intera giornata secondo i diversi scenari. Gli scenari considerati sono: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 4 e interruzione programmata 4 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

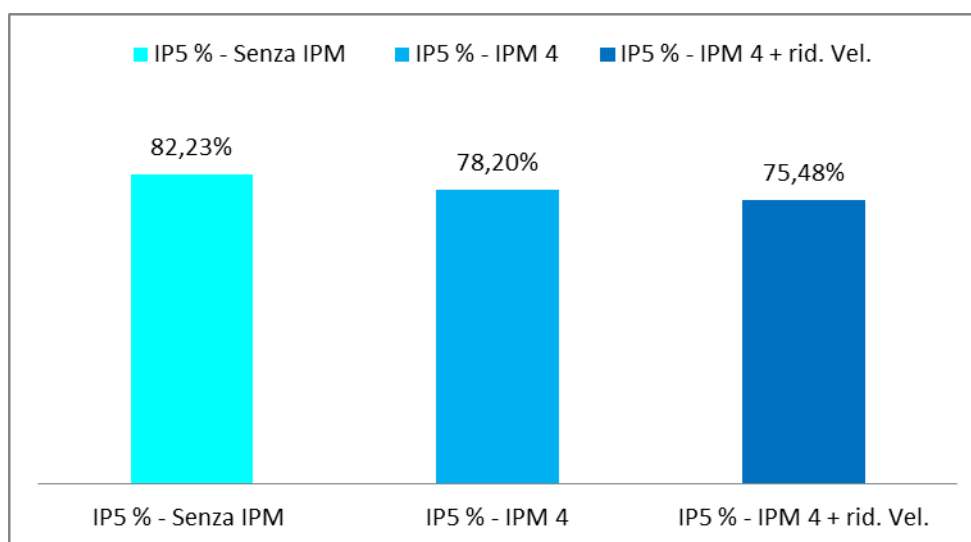


Grafico 7-9: Confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete, secondo diversi scenari: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 4 e interruzione programmata 4 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

Il confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete per diversi scenari evidenzia quanto segue:

- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario senza interruzioni programmate: 82,23%
- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario che prevede l'interruzione programmata 4: 78,20% con una flessione del 4,03% rispetto allo scenario senza interruzione.
- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario che prevede l'interruzione programmata 4 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo: 75,48% con una flessione del 6,75% rispetto allo scenario senza interruzione e una flessione del 2,72% rispetto allo scenario con la sola interruzione programmata 4 senza riduzione della velocità sul binario attiguo.

7.3.4.2. Gli altri dati

L'osservazione dei dati tabulati in allegato 7 mostra come le corse risentono della circolazione a senso unico alternato proprio perché la struttura di orario comporta per esse attese aggiuntive nell'impianto di Rescaldina e di Castellanza dove vengono effettuate le operazioni di incrocio. L'incrocio a Rescaldina si traduce nell'attesa da parte delle corse dispari dei treni pari che percorrono il binario rimasto in esercizio, mentre l'incrocio a Castellanza comporta il viceversa.

Durante l'interruzione, la successione dei treni nei due sensi di marcia che percorrono l'unico binario rimasto in esercizio generano ripercussioni a catena con un mutuo scambio di ritardi dovuti alle attese del treno incrociante.

La posizione dei deviatori favorevole consente la riduzione della circolazione a binario unico alla minima estensione necessaria e questo, a differenza di quanto avviene interrompendo il binario dispari (nell'interruzione numero 3) ne riduce gli effetti negativi.

I treni pari in particolare risultano penalizzati rispetto a quelli dispari perché affrontano il percorso deviato per poter superare il tratto interessato dalle lavorazioni.

L'imposizione di una limitazione di velocità a 60 km/h sul binario adiacente le lavorazioni causa dei ritardi aggiuntivi dovuti all'aumento dei tempi di percorrenza: questo amplifica gli effetti negativi esposti precedentemente.

I grafici che espongono le rappresentazioni sul totale dei treni in arrivo negli impianti, divisi per fascia oraria, avvalorano quanto detto in precedenza in particolare:

- Corse con numerazione pari in arrivo nell'impianto di Saronno con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame: 13% (contro il 2% dello scenario senza interruzione), ossia 16 treni su 126.
- Corse con numerazione pari in arrivo nell'impianto di Saronno con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame e la riduzione di velocità sul binario adiacente: 24% (contro il 2% dello scenario senza interruzione e il 13% dello scenario con l'interruzione senza limitazione di velocità), ossia 30 treni su 126.
- Corse con numerazione dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame: 34% (contro il 27% dello scenario senza interruzione), ossia 44 treni su 128.
- Corse con numerazione dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame e la riduzione di velocità sul binario adiacente: 38% (contro il 27% dello scenario senza interruzione e il 34% dello scenario con l'interruzione senza limitazione di velocità), ossia 50 treni su 128.

Quanto detto in precedenza, è confermato anche dal confronto degli indici di puntualità ai 5' calcolati su base giornaliera riferiti ad una sola direttrice (*IP5*); in particolare si osserva che:

- L'*IP5*' calcolato considerando solo le corse pari in arrivo nell'impianto di Saronno:

3 ottobre 2013

- Scenario con l'interruzione in esame: 87,30% (contro il 97,62% dello scenario senza interruzione)
- Scenario con l'interruzione in esame e la limitazione di velocità sul binario attiguo: 76,19% (contro il 97,62% dello scenario senza interruzione e il 87,30% dello scenario con l'interruzione programmata in esame senza limitazione di velocità).
- L'*IP5'* calcolato considerando solo le corse dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto:
 - Scenario con l'interruzione in esame: 66,41% (contro il 72,66% dello scenario senza interruzione)
 - Scenario con l'interruzione in esame e la limitazione di velocità sul binario attiguo: 61,72% (contro il 72,66% dello scenario senza interruzione e il 66,41% dello scenario con l'interruzione programmata in esame senza limitazione di velocità)

Dato che la stazione di termine corsa non si colloca in prossimità del cantiere, le corse hanno la possibilità di un recupero parziale dei ritardi maturati ed un riallineamento alla traccia oraria pianificata per ciascun treno. Generalmente infatti, più la stazione di termine corsa risulta distante dal punto di installazione del cantiere e più i ritardi maturati dalla corsa verranno recuperati almeno in parte: questo si verifica grazie alla struttura di orario che contempla un allungamento della traccia oraria del 7% consentendo pertanto alcuni margini di recupero.

Per limitare il disagio derivante dalle interruzioni nei confronti dei passeggeri in funzione della domanda di trasporto, si procede agevolando i treni con numerazione pari al mattino e con numerazione dispari nel pomeriggio; questo non determina un miglioramento della puntualità ma solo una redistribuzione del ritardo, penalizzando così le corse con un minor numero di passeggeri a bordo. Tuttavia, non sempre è possibile l'agevolazione delle corse secondo il criterio sopracitato: la struttura di orario rende preferibile agevolare diversamente le corse nel tentativo di minimizzare il ritardo complessivo.

Osservando l'andamento dell'indice di puntualità ai 5' calcolati su base oraria per un solo gruppo di corse (*IP5' h*) in arrivo in un dato impianto, si ha un recupero di puntualità nelle ore centrali della giornata rispetto alle fasce orarie di punta: questo perché si ha una riduzione dell'offerta legata ad alcuni servizi e quindi gli effetti descritti in precedenza interessano un numero inferiore di corse.

Nonostante questa interruzione risulti simile alla numero 3 (la quale prevedeva l'interruzione del binario dispari fra Rescaldina e Castellanza), la localizzazione dei deviatori consente di minimizzare il tratto a semplice binario, quindi le interferenze.

7.3.5. IPM 5: interruzione della circolazione sul binario dispari fra Castellanza e Busto Arsizio

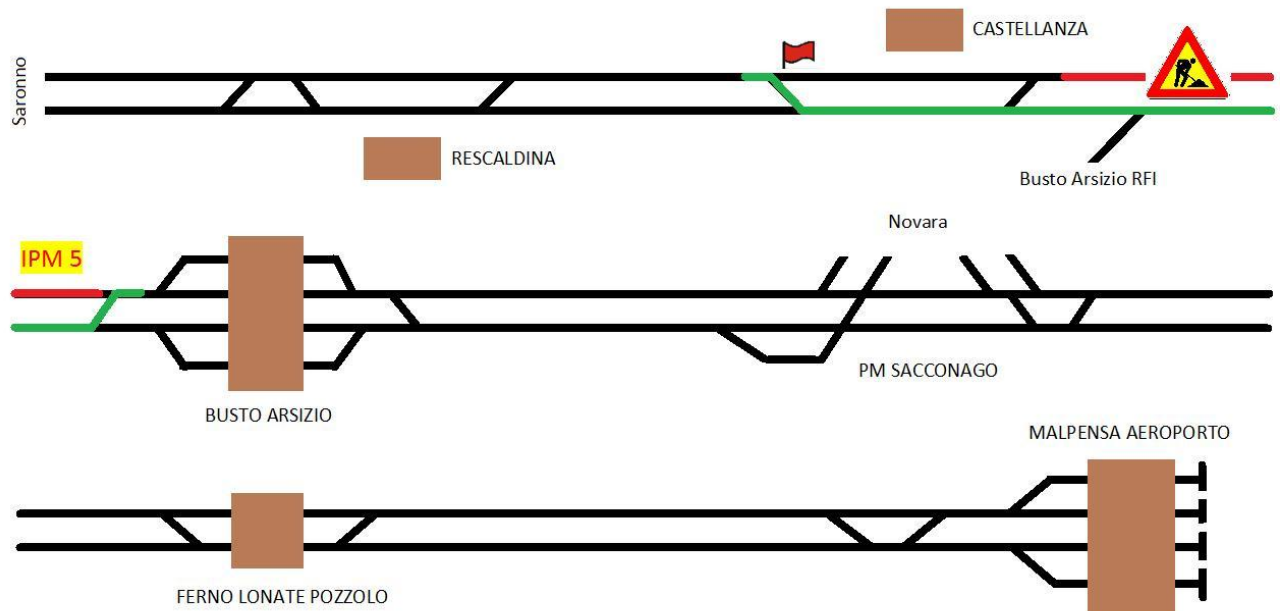


Figura 7-7: Rappresentazione dell'interruzione della circolazione sul binario dispari tra Castellanza e Busto Arsizio.

L'interruzione programmata 5 prevede la sospensione della circolazione sul binario dispari fra i segnali di protezione di Castellanza e i segnali di protezione di Busto Arsizio e la circolazione a senso alternato di tutti i treni sul binario pari rimasto in esercizio. L'interruzione si estende per 165 m ed è in vigore dalle 10:00 alle 16:00. In particolare, a causa della localizzazione dei deviatori, i treni dispari iniziano la marcia su binario di destra al loro ingresso nell'impianto di Castellanza e lo terminano in ingresso nell'impianto di Busto Arsizio: così circolando, effettuano straordinariamente tutti servizio viaggiatori sul binario II di Castellanza allungando così il tratto destinato alla circolazione a senso alternato che raggiunge l'estensione di 2.2 km circa.

L'analisi dei seguenti dati è stato riportato nell'allegato 8:

- La suddivisione in termini percentuali dei treni in arrivo nell'impianto in esame in base alla fascia di ritardo quando è presente l'interruzione programmata 5 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e solo le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.
- Il confronto fra gli andamenti durante l'arco della giornata dell'indice di puntualità ai cinque minuti calcolato su base oraria riferito ad un solo gruppo di corse (IP5' h) e la

rappresentazione del numero di treni che giungono nell'impianto in esame con un ritardo inferiore a 5', senza interruzioni in linea e quando è presente l'interruzione programmata 5 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.

- Il confronto fra gli *indici di puntualità ai cinque minuti calcolati su base giornaliera riferiti ad un solo gruppo di corse (IP5')*, senza interruzioni in linea e quando è presente l'interruzione programmata 5 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.

7.3.5.1. IP5 riferito all'intera rete

Qui di seguito viene proposto il confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete calcolati sull'intera giornata secondo i diversi scenari. Gli scenari considerati sono: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 5 e interruzione programmata 5 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

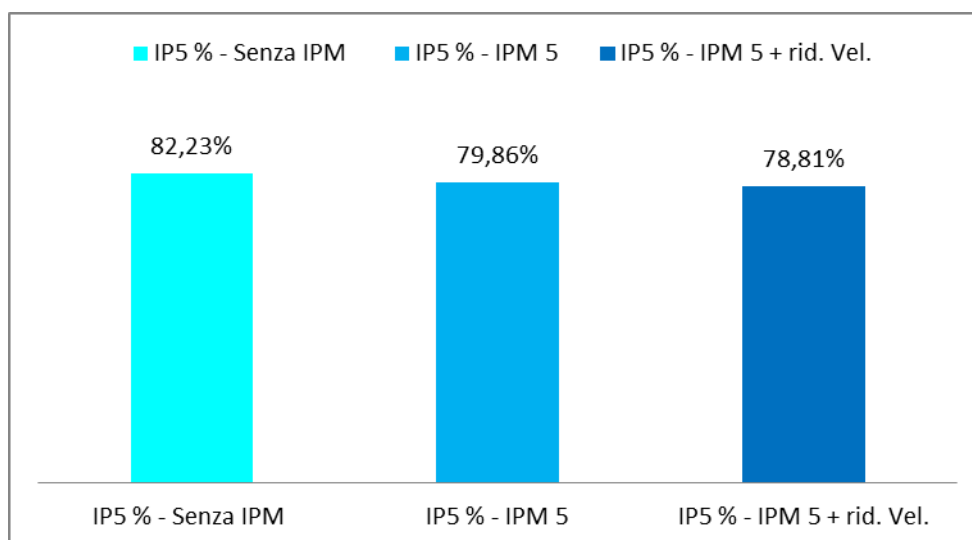


Grafico 7-10: Confronto fra gli *IP5* riferiti all'intera rete, secondo diversi scenari: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 5 e interruzione programmata 5 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

Il confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete per diversi scenari evidenzia quanto segue:

- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario senza interruzioni programmate: 82,23%
- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario che prevede l'interruzione programmata 5: 79,86% con una flessione del 2,37% rispetto allo scenario senza interruzione.

- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario che prevede l'interruzione programmata 5 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo: 78,81% con una flessione del 3,42% rispetto allo scenario senza interruzione e una flessione del 1,05% rispetto allo scenario con la sola interruzione programmata 5 senza riduzione della velocità sul binario attiguo.

7.3.5.2. Gli altri dati

L'osservazione dei dati tabulati in allegato 8 mostra come le corse risentono della circolazione a senso unico alternato proprio perché la struttura di orario comporta per esse attese aggiuntive nell'impianto di Busto Arsizio e di Castellanza dove vengono effettuate le operazioni di incrocio. L'incrocio a Castellanza si traduce nell'attesa da parte delle corse dispari dei treni pari che percorrono il binario rimasto in esercizio, mentre l'incrocio a Busto Arsizio comporta il viceversa.

Durante l'interruzione, la successione dei treni nei due sensi di marcia che percorrono l'unico binario rimasto in esercizio generano ripercussioni a catena con un mutuo scambio di ritardi dovuti alle attese del treno incrociante.

La circolazione a senso unico alternato, a causa della localizzazione dei deviatori, si realizza dall'ingresso nell'impianto di Castellanza fino all'ingresso nell'impianto di Busto Arsizio e quindi interessante un tratto molto più lungo rispetto ai 165 m del cantiere (2.2 km circa): questo amplifica gli effetti negativi derivanti dalla circolazione a semplice binario.

Questa interruzione è particolarmente delicata perché il binario pari rimasto in esercizio è utilizzato regolarmente anche dalle corse dispari provenienti da Bellinzona e che entrano in linea utilizzando il raccordo X: questo crea ulteriori interferenze.

L'impianto di Busto Arsizio, potendo disporre di quattro binari di circolazione, consente di ricevere più di un treno all'interno dell'impianto: questo evita in parte che i convogli rimangano in coda lungo la linea, fermi ai segnali di protezione; pertanto, se la struttura di orario lo consente è preferibile effettuare le operazioni di incrocio nell'impianto di Busto Arsizio.

I treni dispari in particolare risultano penalizzati rispetto a quelli pari perché affrontano il percorso deviato per poter superare il tratto interessato dalle lavorazioni.

L'imposizione di una limitazione di velocità a 60 km/h sul binario adiacente le lavorazioni causa dei ritardi aggiuntivi dovuti all'aumento dei tempi di percorrenza più modesti rispetto alle altre interruzioni: infatti la limitazione di velocità interessa solamente i 200 m circa di estensione effettiva delle lavorazioni e non l'intero tratto interessato dal senso unico alternato (circa 2.2 km).

I grafici che espongono le rappresentazioni sul totale dei treni in arrivo negli impianti, divisi per fascia oraria, avvalorano quanto detto in precedenza in particolare:

- Corse con numerazione pari in arrivo nell'impianto di Saronno con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame: 4% (contro il 2% dello scenario senza interruzione), ossia 5 treni su 126.
- Corse con numerazione pari in arrivo nell'impianto di Saronno con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame e la riduzione di velocità sul binario

3 ottobre 2013

adiacente: 7% (contro il 2% dello scenario senza interruzione e il 4% dello scenario con l'interruzione senza limitazione di velocità), ossia 9 treni su 126.

- Corse con numerazione dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame: 34% (contro il 27% dello scenario senza interruzione), ossia 44 treni su 128.
- Corse con numerazione dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame e la riduzione di velocità sul binario adiacente: 35% (contro il 27% dello scenario senza interruzione e il 34% dello scenario con l'interruzione senza limitazione di velocità), ossia 45 treni su 128.

Quanto detto in precedenza, è confermato anche dal confronto degli indici di puntualità ai 5' calcolati su base giornaliera riferiti ad una sola direttrice (*IP5*); in particolare si osserva che:

- L'*IP5*' calcolato considerando solo le corse pari in arrivo nell'impianto di Saronno:
 - Scenario con l'interruzione in esame: 96,03% (contro il 97,62% dello scenario senza interruzione)
 - Scenario con l'interruzione in esame e la limitazione di velocità sul binario attiguo: 92,86% (contro il 97,62% dello scenario senza interruzione e il 96,03% dello scenario con l'interruzione programmata in esame senza limitazione di velocità).
- L'*IP5*' calcolato considerando solo le corse dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto:
 - Scenario con l'interruzione in esame: 66,41% (contro il 72,66% dello scenario senza interruzione)
 - Scenario con l'interruzione in esame e la limitazione di velocità sul binario attiguo: 64,84% (contro il 72,66% dello scenario senza interruzione e il 66,72% dello scenario con l'interruzione programmata in esame senza limitazione di velocità)

Dato che la stazione di termine corsa non si colloca in prossimità del cantiere, le corse hanno la possibilità di un recupero parziale dei ritardi maturati ed un riallineamento alla traccia oraria pianificata per ciascun treno. Generalmente infatti, più la stazione di termine corsa risulta distante dal punto di installazione del cantiere e più i ritardi maturati dalla corsa verranno recuperati almeno in parte: questo si verifica grazie alla struttura di orario che contempla un allungamento della traccia oraria del 7% consentendo pertanto alcuni margini di recupero.

Per limitare il disagio derivante dalle interruzioni nei confronti dei passeggeri in funzione della domanda di trasporto, si procede agevolando i treni con numerazione pari al mattino e con numerazione dispari nel pomeriggio; questo non determina un miglioramento della puntualità ma solo una redistribuzione del ritardo, penalizzando così le corse con un minor numero di passeggeri a bordo. Tuttavia, non sempre è possibile l'agevolazione delle corse secondo il criterio sopracitato: la

3 ottobre 2013

struttura di orario rende preferibile agevolare diversamente le corse nel tentativo di minimizzare il ritardo complessivo.

Osservando l'andamento dell'indice di puntualità ai 5' calcolati su base oraria per un solo gruppo di corse (*IP5' h*) in arrivo in un dato impianto, si ha un recupero di puntualità nelle ore centrali della giornata rispetto alle fasce orarie di punta: questo perché si ha una riduzione dell'offerta legata ad alcuni servizi e quindi gli effetti descritti in precedenza interessano un numero inferiore di corse.

7.3.6. IPM 6: interruzione della circolazione sul binario pari fra Busto Arsizio e Castellanza

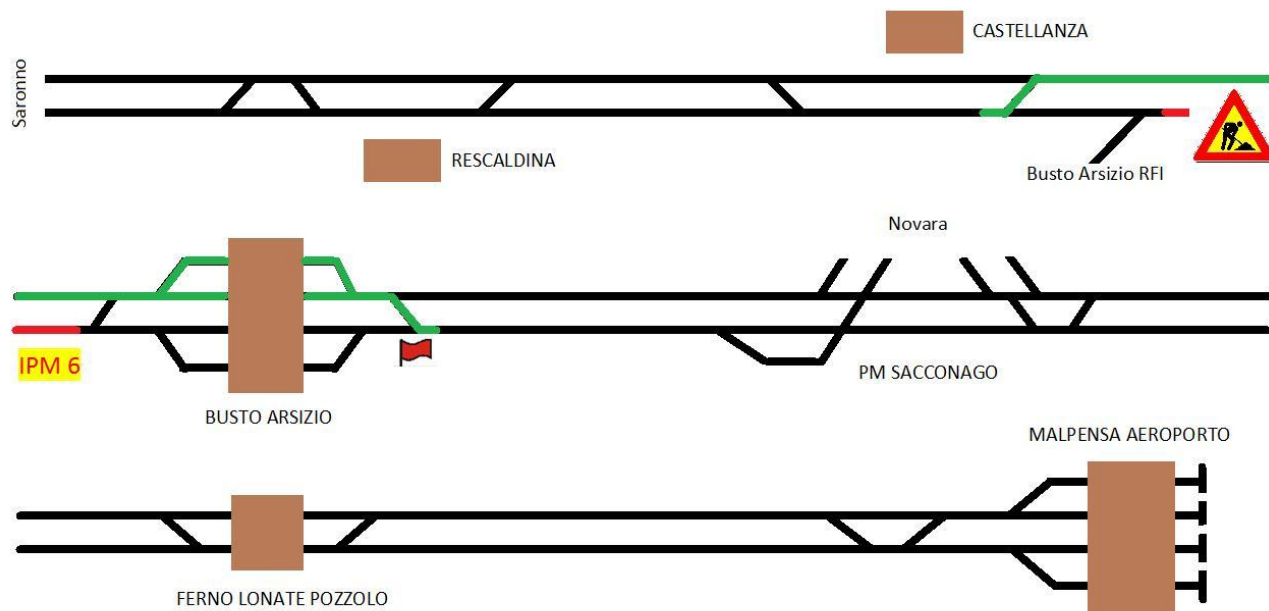


Figura 7-8: Rappresentazione dell'interruzione della circolazione sul binario pari tra Busto Arsizio e Castellanza.

L'interruzione programmata 6 prevede la sospensione della circolazione sul binario pari fra i segnali di protezione di Busto Arsizio e i segnali di protezione di Castellanza e la circolazione a senso alternato di tutti i treni sul binario dispari rimasto in esercizio. L'interruzione si estende per 165 m ed è in vigore dalle 10:00 alle 16:00. In particolare, a causa dell'interruzione di questo tratto di binario, è obbligata la soppressione del servizio S30 (Bellinzona – Malpensa Aeroporto) o comunque limitata a Busto Arsizio RFI: questo servizio utilizza il raccordo X per poter entrare in linea, il quale si raccorda solo con il binario dispari ma la circolazione sul binario dispari è sospesa. Vista la soppressione del servizio S30 tra le 10:00 e le 16:00 si è deciso di escludere da tutte le valutazioni i dati riferiti a quest'ultimo poiché alterati. Inoltre, a causa della localizzazione dei deviatori, i treni pari iniziano la marcia su binario di destra al loro ingresso nell'impianto di Busto Arsizio e lo terminano in ingresso nell'impianto di Castellanza: così circolando, effettuano straordinariamente tutti servizio viaggiatori sul binario III e IV di Busto Arsizio allungando così il tratto destinato alla circolazione a senso alternato.

L'analisi dei seguenti dati è stato riportato nell'allegato 9:

- La suddivisione in termini percentuali dei treni in arrivo nell'impianto in esame in base alla fascia di ritardo quando è presente l'interruzione programmata 6 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con

numerazione pari per l'impianto di Saronno e solo le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.

- Il confronto fra gli andamenti durante l'arco della giornata *dell'indice di puntualità ai cinque minuti calcolato su base oraria riferito ad un solo gruppo di corse (IP5' h)* e la rappresentazione del numero di treni che giungono nell'impianto in esame con un ritardo inferiore a 5', senza interruzioni in linea e quando è presente l'interruzione programmata 6 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.
- Il confronto fra gli *indici di puntualità ai cinque minuti calcolati su base giornaliera riferiti ad un solo gruppo di corse (IP5')*, senza interruzioni in linea e quando è presente l'interruzione programmata 6 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.

7.3.6.1. IP5 riferito all'intera rete

Qui di seguito viene proposto il confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete calcolati sull'intera giornata secondo i diversi scenari. Gli scenari considerati sono: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 6 e interruzione programmata 6 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

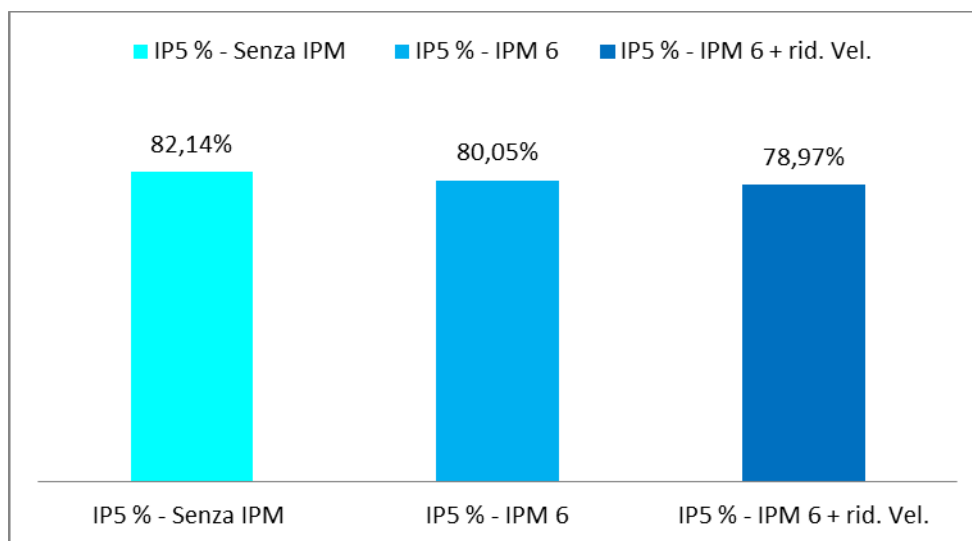


Grafico 7-11: Confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete, secondo diversi scenari: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 6 e interruzione programmata 6 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

Il confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete per diversi scenari evidenzia quanto segue:

- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario senza interruzioni programmate: 82,14% (il dato è stato calcolato non considerando del tutto i servizi S30 che, per quanto detto in precedenza, subiscono la soppressione totale durante tutta la durata dell'interruzione.)
- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario che prevede l'interruzione programmata 6: 80,05% con una flessione del 2,09% rispetto allo scenario senza interruzione.
- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario che prevede l'interruzione programmata 6 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo: 78,97% con una flessione del 3,17% rispetto allo scenario senza interruzione e una flessione del 1,08% rispetto allo scenario con la sola interruzione programmata 6 senza riduzione della velocità sul binario attiguo.

7.3.6.2. Gli altri dati

L'osservazione dei dati tabulati in allegato 9 mostra come le corse risentono della circolazione a senso unico alternato proprio perché la struttura di orario comporta per esse attese aggiuntive nell'impianto di Busto Arsizio e di Castellanza dove vengono effettuate le operazioni di incrocio. L'incrocio a Castellanza si traduce nell'attesa da parte delle corse dispari dei treni pari che percorrono il binario rimasto in esercizio, mentre l'incrocio a Busto Arsizio comporta il viceversa.

Durante l'interruzione, la successione dei treni nei due sensi di marcia che percorrono l'unico binario rimasto in esercizio generano ripercussioni a catena con un mutuo scambio di ritardi dovuti alle attese del treno incrociante.

A causa della localizzazione dei deviatori, la circolazione a binario unico si realizza dall'ingresso nell'impianto di Busto Arsizio fino all'ingresso nell'impianto di Castellanza e quindi interessante un tratto molto più lungo rispetto ai 165 m del cantiere (2.2 km circa).

A differenza dell'interruzione numero 5, non è possibile utilizzare tutti i binari di cui dispone l'impianto di Busto Arsizio e quindi la circolazione viene regolata solo sui binari III e IV, con conseguenti interferenze alla circolazione.

Gioca a vantaggio la soppressione su rete FNM del servizio S30 che riduce le interferenze fra i treni migliorando la puntualità della circolazione; esso può essere limitato all'impianto di Busto Arsizio RFI e sostituito fino a Malpensa Aeroporto da un servizio di autobus.

I treni pari in particolare risultano penalizzati rispetto a quelli dispari perché affrontano il percorso deviato per poter superare il tratto interessato dalle lavorazioni.

L'imposizione di una limitazione di velocità a 60 km/h sul binario adiacente le lavorazioni causa dei ritardi aggiuntivi dovuti all'aumento dei tempi di percorrenza più modesti rispetto alle altre interruzioni: infatti la limitazione di velocità interessa solamente i 200 m circa di estensione effettiva dell'interruzione e non l'intero tratto interessato dal senso unico alternato (circa 2.2 km).

I grafici che espongono le rappresentazioni sul totale dei treni in arrivo negli impianti, divisi per fascia oraria, avvalorano quanto detto in precedenza in particolare:

- Corse con numerazione pari in arrivo nell'impianto di Saronno con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame: 6% (contro il 2% dello scenario senza interruzione), ossia 8 treni su 126.

- Corse con numerazione pari in arrivo nell'impianto di Saronno con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame e la riduzione di velocità sul binario adiacente: 8% (contro il 2% dello scenario senza interruzione e il 6% dello scenario con l'interruzione senza limitazione di velocità), ossia 10 treni su 126.
- Corse con numerazione dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame: 30% (contro il 27% dello scenario senza interruzione), ossia 38 treni su 128.
- Corse con numerazione dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame e la riduzione di velocità sul binario adiacente: 31% (contro il 27% dello scenario senza interruzione e il 30% dello scenario con l'interruzione senza limitazione di velocità), ossia 40 treni su 128.

Quanto detto in precedenza, è confermato anche dal confronto degli indici di puntualità ai 5' calcolati su base giornaliera riferiti ad una sola direttrice (*IP5*); in particolare si osserva che:

- L'*IP5*' calcolato considerando solo le corse pari in arrivo nell'impianto di Saronno:
 - Scenario con l'interruzione in esame: 93,65% (contro il 97,62% dello scenario senza interruzione)
 - Scenario con l'interruzione in esame e la limitazione di velocità sul binario attiguo: 92,06% (contro il 97,62% dello scenario senza interruzione e il 93,65% dello scenario con l'interruzione programmata in esame senza limitazione di velocità).
- L'*IP5*' calcolato considerando solo le corse dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto:
 - Scenario con l'interruzione in esame: 69,53% (contro il 72,66% dello scenario senza interruzione)
 - Scenario con l'interruzione in esame e la limitazione di velocità sul binario attiguo: 68,75% (contro il 72,66% dello scenario senza interruzione e il 69,53% dello scenario con l'interruzione programmata in esame senza limitazione di velocità)

Dato che la stazione di termine corsa non si colloca in prossimità del cantiere, le corse hanno la possibilità di un recupero parziale dei ritardi maturati ed un riallineamento alla traccia oraria pianificata per ciascun treno. Generalmente infatti, più la stazione di termine corsa risulta distante dal punto di installazione del cantiere e più i ritardi maturati dalla corsa verranno recuperati almeno in parte: questo si verifica grazie alla struttura di orario che contempla un allungamento della traccia oraria del 7% consentendo pertanto alcuni margini di recupero.

Per limitare il disagio derivante dalle interruzioni nei confronti dei passeggeri in funzione della domanda di trasporto, si procede agevolando i treni con numerazione pari al mattino e con numerazione dispari nel pomeriggio; questo non determina un miglioramento della puntualità ma solo una redistribuzione del ritardo, penalizzando così le corse con un minor numero di passeggeri a

3 ottobre 2013

bordo. Tuttavia, non sempre è possibile l'agevolazione delle corse secondo il criterio sopracitato: la struttura di orario rende preferibile agevolare diversamente le corse nel tentativo di minimizzare il ritardo complessivo.

Osservando l'andamento dell'indice di puntualità ai 5' calcolati su base oraria per un solo gruppo di corse (*IP5' h*) in arrivo in un dato impianto, si ha un recupero di puntualità nelle ore centrali della giornata rispetto alle fasce orarie di punta: questo perché si ha una riduzione dell'offerta legata ad alcuni servizi e quindi gli effetti descritti in precedenza interessano un numero inferiore di corse.

7.3.7. IPM 7: interruzione della circolazione sul binario dispari fra Busto Arsizio e il bivio Sacconago

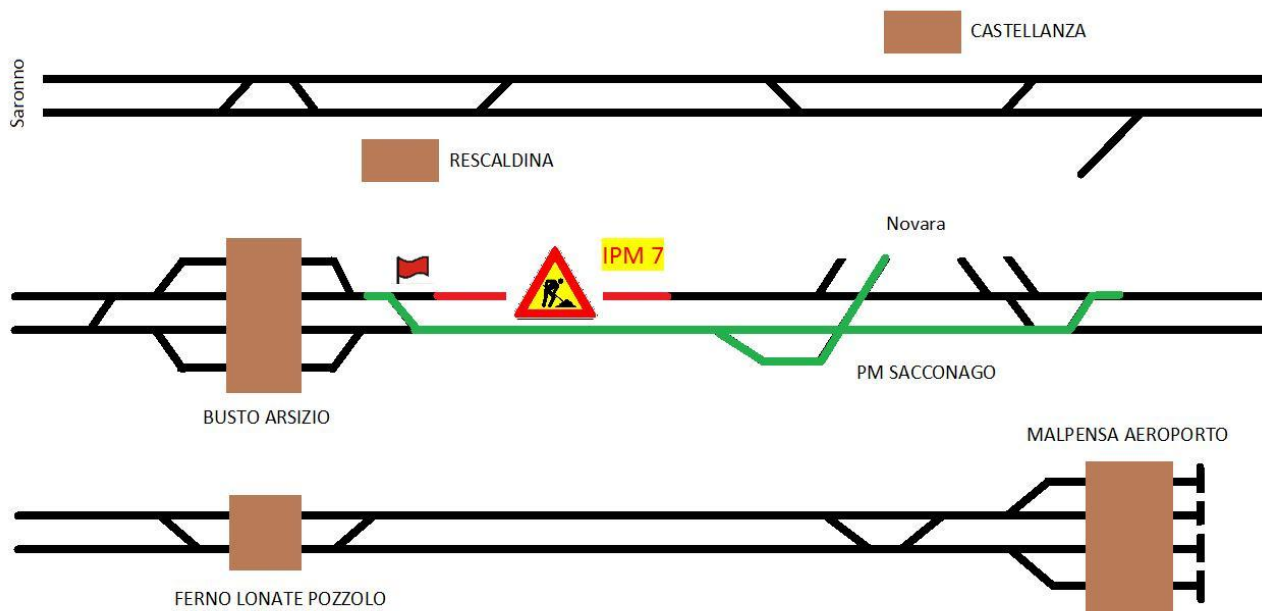


Figura 7-9: Rappresentazione dell'interruzione della circolazione sul binario dispari tra Busto Arsizio e il bivio Sacconago.

L'interruzione programmata 7 prevede la sospensione della circolazione sul binario dispari fra i segnali di protezione di Busto Arsizio e i segnali di protezione del Bivio Sacconago e la circolazione a senso alternato di tutti i treni sul binario pari rimasto in esercizio. L'interruzione si estende per 195 m ed è in vigore dalle 10:00 alle 16:00. Inoltre, a causa della localizzazione dei deviatori, i treni dispari iniziano la marcia su binario di destra alla loro uscita dall'impianto di Busto Arsizio e lo terminano all'uscita del Bivio Sacconago, allungando così il tratto destinato alla circolazione a senso alternato (3.3 km circa).

L'analisi dei seguenti dati è stato riportato nell'allegato 10:

- La suddivisione in termini percentuali dei treni in arrivo nell'impianto in esame in base alla fascia di ritardo quando è presente l'interruzione programmata 7 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e solo le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.
- Il confronto fra gli andamenti durante l'arco della giornata *dell'indice di puntualità ai cinque minuti calcolato su base oraria riferito ad un solo gruppo di corse (IP5' h)* e la rappresentazione del numero di treni che giungono nell'impianto in esame con un ritardo inferiore a 5', senza interruzioni in linea e quando è presente l'interruzione programmata 7 con

e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.

- Il confronto fra gli *indici di puntualità ai cinque minuti calcolati su base giornaliera riferiti ad un solo gruppo di corse (IP5')*, senza interruzioni in linea e quando è presente l'interruzione programmata 7 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.

7.3.7.1. IP5 riferito all'intera rete

Qui di seguito viene proposto il confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete calcolati sull'intera giornata secondo i diversi scenari. Gli scenari considerati sono: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 7 e interruzione programmata 7 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

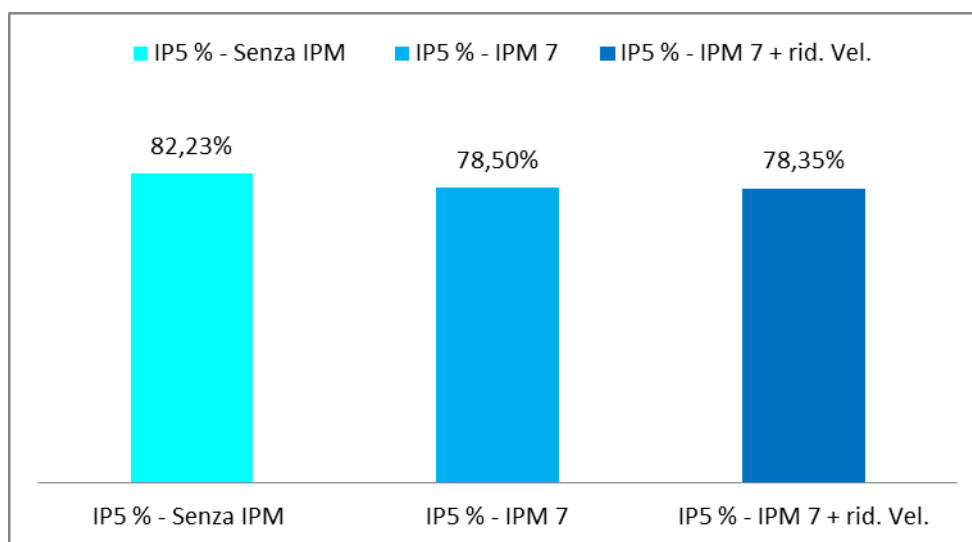


Grafico 7-12: Confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete, secondo diversi scenari: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 7 e interruzione programmata 7 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

Il confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete per diversi scenari evidenzia quanto segue:

- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario senza interruzioni programmate: 82,23%.
- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario che prevede l'interruzione programmata 7: 78,50% con una flessione del 3,73% rispetto allo scenario senza interruzione.
- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario che prevede l'interruzione programmata 7 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo: 78,35% con una flessione del 3,88%

rispetto allo scenario senza interruzione e una flessione del 0,15% rispetto allo scenario con la sola interruzione programmata 7 senza riduzione della velocità sul binario attiguo.

7.3.7.2. Gli altri dati

L'osservazione dei dati tabulati in allegato 10 mostra come le corse risentono della circolazione a senso unico alternato proprio perché la struttura di orario comporta per esse attese aggiuntive nell'impianto di Busto Arsizio e in corrispondenza del Sacconago dove vengono effettuate le operazioni di incrocio. L'incrocio a Busto Arsizio si traduce nell'attesa da parte delle corse dispari dei treni pari che percorrono il binario rimasto in esercizio, mentre l'incrocio in corrispondenza del Sacconago comporta il viceversa.

Durante l'interruzione, la successione dei treni nei due sensi di marcia che percorrono l'unico binario rimasto in esercizio generano ripercussioni a catena con un mutuo scambio di ritardi dovuti alle attese del treno incrociante.

Questa interruzione infatti, nonostante la sua breve estensione, implica una circolazione a senso unico alternato lungo entrambi i rami che compongono il bivio Sacconago (sia il ramo Novara che il ramo Malpensa): la circolazione a senso unico alternato, per i treni da e per Malpensa Aeroporto raggiunge l'estensione di circa 3.3 km.

I treni dispari in particolare risultano penalizzati rispetto a quelli pari perché affrontano il percorso deviato per poter superare il tratto interessato dalle lavorazioni.

L'imposizione di una limitazione di velocità a 60 km/h sul binario adiacente le lavorazioni causa dei ritardi aggiuntivi dovuti all'aumento dei tempi di percorrenza più modesti rispetto alle altre interruzioni: infatti la limitazione di velocità interessa solamente i 200 m circa di estensione effettiva dell'interruzione e non l'intero tratto interessato dal senso unico alternato (circa 3.3 km).

I grafici che espongono le rappresentazioni sul totale dei treni in arrivo negli impianti, divisi per fascia oraria, avvalorano quanto detto in precedenza in particolare:

- Corse con numerazione pari in arrivo nell'impianto di Saronno con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame: 8% (contro il 2% dello scenario senza interruzione), ossia 10 treni su 126.
- Corse con numerazione pari in arrivo nell'impianto di Saronno con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame e la riduzione di velocità sul binario adiacente: 10% (contro il 2% dello scenario senza interruzione e il 8% dello scenario con l'interruzione senza limitazione di velocità), ossia 13 treni su 126.
- Corse con numerazione dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame: 39% (contro il 27% dello scenario senza interruzione), ossia 50 treni su 128.
- Corse con numerazione dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame e la riduzione di velocità sul binario adiacente: 39% (contro il 27% dello scenario senza interruzione e senza

variazioni rispetto allo scenario con l'interruzione senza limitazione di velocità), ossia 50 treni su 128.

Quanto detto in precedenza, è confermato anche dal confronto degli indici di puntualità ai 5' calcolati su base giornaliera riferiti ad una sola direttrice (*IP5*); in particolare si osserva che:

- L'*IP5*' calcolato considerando solo le corse pari in arrivo nell'impianto di Saronno:
 - Scenario con l'interruzione in esame: 92,06% (contro il 97,62% dello scenario senza interruzione)
 - Scenario con l'interruzione in esame e la limitazione di velocità sul binario attiguo: 89,68% (contro il 97,62% dello scenario senza interruzione e il 92,06% dello scenario con l'interruzione programmata in esame senza limitazione di velocità).
- L'*IP5*' calcolato considerando solo le corse dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto:
 - Scenario con l'interruzione in esame: 60,94% (contro il 72,66% dello scenario senza interruzione)
 - Scenario con l'interruzione in esame e la limitazione di velocità sul binario attiguo: 60,94% (contro il 72,66% dello scenario senza interruzione e senza variazioni rispetto allo scenario con l'interruzione programmata in esame senza limitazione di velocità)

La stazione di termine corsa non si colloca in prossimità del cantiere per le corse pari pertanto hanno la possibilità di un recupero parziale dei ritardi maturati ed un riallineamento alla traccia oraria pianificata; invece, le corse dispari hanno più difficoltà in questo perché il cantiere si colloca vicino alla stazione di Malpensa Aeroporto. Generalmente infatti, più la stazione di termine corsa risulta distante dal punto di installazione del cantiere e più i ritardi maturati dalla corsa verranno recuperati almeno in parte: questo si verifica grazie alla struttura di orario che contempla un allungamento della traccia oraria del 7% consentendo pertanto alcuni margini di recupero.

Per limitare il disagio derivante dalle interruzioni nei confronti dei passeggeri in funzione della domanda di trasporto, si procede agevolando i treni con numerazione pari al mattino e con numerazione dispari nel pomeriggio; questo non determina un miglioramento della puntualità ma solo una redistribuzione del ritardo, penalizzando così le corse con un minor numero di passeggeri a bordo. Tuttavia, non sempre è possibile l'agevolazione delle corse secondo il criterio sopracitato: la struttura di orario rende preferibile agevolare diversamente le corse nel tentativo di minimizzare il ritardo complessivo.

Osservando l'andamento dell'indice di puntualità ai 5' calcolati su base oraria per un solo gruppo di corse (*IP5' h*) in arrivo in un dato impianto, si ha un recupero di puntualità nelle ore centrali della giornata rispetto alle fasce orarie di punta: questo perché si ha una riduzione dell'offerta legata ad alcuni servizi e quindi gli effetti descritti in precedenza interessano un numero inferiore di corse.

7.3.8. IPM 8: interruzione della circolazione sul binario pari fra il bivio Sacconago e Busto Arsizio

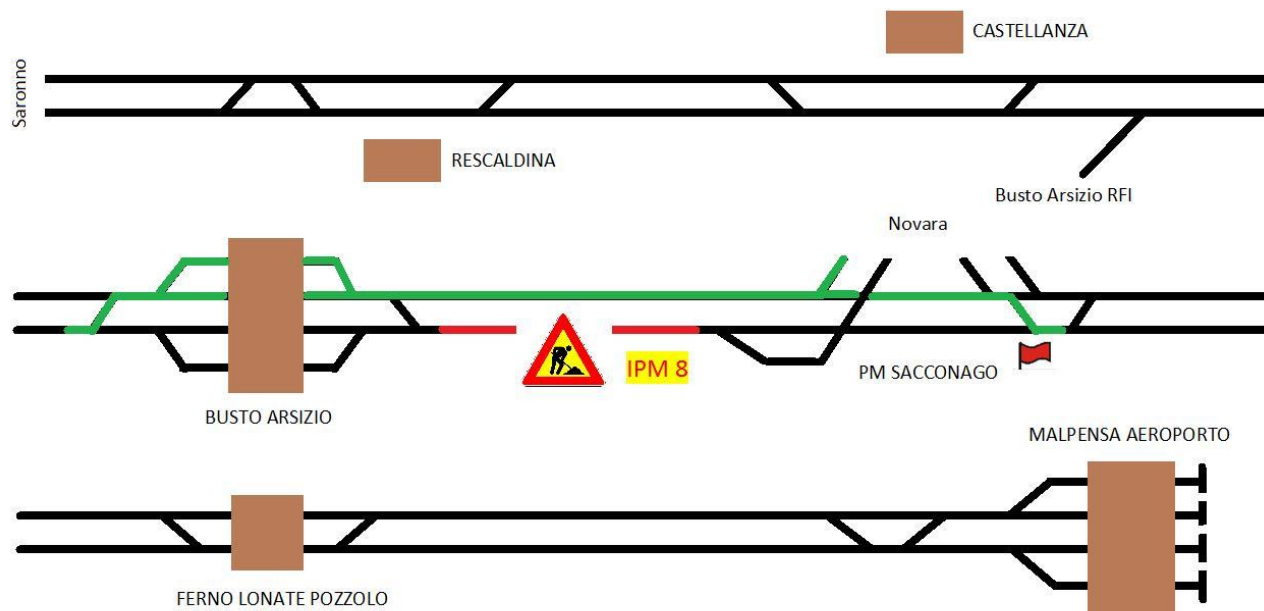


Figura 7-10: Rappresentazione dell'interruzione della circolazione sul binario pari tra il bivio Sacconago e Busto Arsizio.

L'interruzione programmata 8 prevede la sospensione della circolazione sul binario pari fra i segnali di protezione del Bivio Sacconago e i segnali di protezione di Busto Arsizio e la circolazione a senso alternato di tutti i treni sul binario dispari rimasto in esercizio. L'interruzione si estende per 195 m ed è in vigore dalle 10:00 alle 16:00. Inoltre, a causa della localizzazione dei deviatori, i treni pari iniziano la marcia su binario di destra al loro ingresso nel Bivio Sacconago e lo terminano in uscita dall'impianto di Busto Arsizio: così circolando, effettuano straordinariamente tutti servizio viaggiatori sul binario III e IV di Busto Arsizio, allungando così il tratto destinato alla circolazione a senso alternato che raggiunge l'estensione di 5 km circa.

L'analisi dei seguenti dati è stato riportato nell'allegato 11:

- La suddivisione in termini percentuali dei treni in arrivo nell'impianto in esame in base alla fascia di ritardo quando è presente l'interruzione programmata 8 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e solo le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.
- Il confronto fra gli andamenti durante l'arco della giornata dell'indice di puntualità ai cinque minuti calcolato su base oraria riferito ad un solo gruppo di corse (IP5' h) e la

rappresentazione del numero di treni che giungono nell'impianto in esame con un ritardo inferiore a 5', senza interruzioni in linea e quando è presente l'interruzione programmata 8 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.

- Il confronto fra gli *indici di puntualità ai cinque minuti calcolati su base giornaliera riferiti ad un solo gruppo di corse (IP5')*, senza interruzioni in linea e quando è presente l'interruzione programmata 8 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.

7.3.8.1. IP5 riferito all'intera rete

Qui di seguito viene proposto il confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete calcolati sull'intera giornata secondo i diversi scenari. Gli scenari considerati sono: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 8 e interruzione programmata 8 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

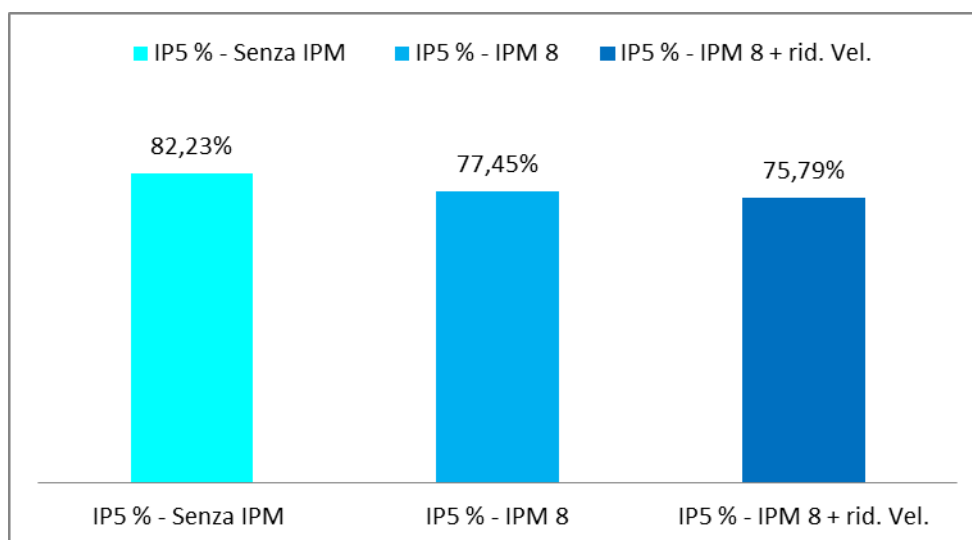


Grafico 7-13: Confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete, secondo diversi scenari: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 8 e interruzione programmata 8 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

Il confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete per diversi scenari evidenzia quanto segue:

- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario senza interruzioni programmate: 82,23%.
- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario che prevede l'interruzione programmata 8: 77,45% con una flessione del 4,78% rispetto allo scenario senza interruzione.

- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario che prevede l'interruzione programmata 8 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo: 75,79% con una flessione del 6,44% rispetto allo scenario senza interruzione e una flessione del 1,66% rispetto allo scenario con la sola interruzione programmata 8 senza riduzione della velocità sul binario attiguo.

7.3.8.2. Gli altri dati

L'osservazione dei dati tabulati in allegato 11 mostra come le corse risentono della circolazione a senso unico alternato proprio perché la struttura di orario comporta per esse attese aggiuntive nell'impianto di Busto Arsizio e al bivio Sacconago dove vengono effettuate le operazioni di incrocio. L'incrocio a Busto Arsizio si traduce nell'attesa da parte delle corse dispari dei treni pari che percorrono il binario rimasto in esercizio, mentre l'incrocio al bivio Sacconago comporta il viceversa. Durante l'interruzione, la successione dei treni nei due sensi di marcia che percorrono l'unico binario rimasto in esercizio generano ripercussioni a catena con un mutuo scambio di ritardi dovuti alle attese del treno incrociante.

Questa interruzione infatti, nonostante la sua breve estensione, implica una circolazione a senso unico alternato lungo entrambi i rami che compongono il bivio Sacconago (sia il ramo Novara che il ramo Malpensa). La circolazione a senso unico alternato, per i treni da e per Malpensa Aeroporto raggiunge l'estensione di circa 5 km.

I treni pari in particolare risultano penalizzati rispetto a quelli dispari perché affrontano il percorso deviato per poter superare il tratto interessato dalle lavorazioni.

L'imposizione di una limitazione di velocità a 60 km/h sul binario adiacente le lavorazioni causa dei ritardi aggiuntivi dovuti all'aumento dei tempi di percorrenza più modesti rispetto alle altre interruzioni: infatti la limitazione di velocità interessa solamente i 200 m circa di estensione effettiva delle lavorazioni e non l'intero tratto interessato dal senso unico alternato (circa 5 km).

I grafici che espongono le rappresentazioni sul totale dei treni in arrivo negli impianti, divisi per fascia oraria, avvalorano quanto detto in precedenza in particolare:

- Corse con numerazione pari in arrivo nell'impianto di Saronno con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame: 13% (contro il 2% dello scenario senza interruzione), ossia 16 treni su 126.
- Corse con numerazione pari in arrivo nell'impianto di Saronno con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame e la riduzione di velocità sul binario adiacente: 16% (contro il 2% dello scenario senza interruzione e il 13% dello scenario con l'interruzione senza limitazione di velocità), ossia 20 treni su 126.
- Corse con numerazione dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame: 33% (contro il 27% dello scenario senza interruzione), ossia 42 treni su 128.
- Corse con numerazione dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame e la riduzione di

velocità sul binario adiacente: 34% (contro il 27% dello scenario senza interruzione e contro il 33% dello scenario con l'interruzione senza limitazione di velocità), ossia 42 treni su 128.

Quanto detto in precedenza, è confermato anche dal confronto degli indici di puntualità ai 5' calcolati su base giornaliera riferiti ad una sola direttrice (*IP5*); in particolare si osserva che:

- L'*IP5*' calcolato considerando solo le corse pari in arrivo nell'impianto di Saronno:
 - Scenario con l'interruzione in esame: 87,30% (contro il 97,62% dello scenario senza interruzione)
 - Scenario con l'interruzione in esame e la limitazione di velocità sul binario attiguo: 84,13% (contro il 97,62% dello scenario senza interruzione e il 87,30% dello scenario con l'interruzione programmata in esame senza limitazione di velocità).
- L'*IP5*' calcolato considerando solo le corse dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto:
 - Scenario con l'interruzione in esame: 67,19% (contro il 72,66% dello scenario senza interruzione)
 - Scenario con l'interruzione in esame e la limitazione di velocità sul binario attiguo: 66,41% (contro il 72,66% dello scenario senza interruzione e contro il 67,19% rispetto allo scenario con l'interruzione programmata in esame senza limitazione di velocità)

La stazione di termine corsa non si colloca in prossimità del cantiere per le corse pari pertanto hanno la possibilità di un recupero parziale dei ritardi maturati ed un riallineamento alla traccia oraria pianificata; invece, le corse dispari hanno più difficoltà in questo perché il cantiere si colloca vicino alla stazione di Malpensa Aeroporto. Generalmente infatti, più la stazione di termine corsa risulta distante dal punto di installazione del cantiere e più i ritardi maturati dalla corsa verranno recuperati almeno in parte: questo si verifica grazie alla struttura di orario che contempla un allungamento della traccia oraria del 7% consentendo pertanto alcuni margini di recupero.

Per limitare il disagio derivante dalle interruzioni nei confronti dei passeggeri in funzione della domanda di trasporto, si procede agevolando i treni con numerazione pari al mattino e con numerazione dispari nel pomeriggio; questo non determina un miglioramento della puntualità ma solo una redistribuzione del ritardo, penalizzando così le corse con un minor numero di passeggeri a bordo. Tuttavia, non sempre è possibile l'agevolazione delle corse secondo il criterio sopracitato: la struttura di orario rende preferibile agevolare diversamente le corse nel tentativo di minimizzare il ritardo complessivo.

Osservando l'andamento dell'indice di puntualità ai 5' calcolati su base oraria per un solo gruppo di corse (*IP5' h*) in arrivo in un dato impianto, si ha un recupero di puntualità nelle ore centrali della giornata rispetto alle fasce orarie di punta: questo perché si ha una riduzione dell'offerta legata ad alcuni servizi e quindi gli effetti descritti in precedenza interessano un numero inferiore di corse.

7.3.9. IPM 9: interruzione della circolazione sul binario dispari fra il bivio Sacconago e Ferno Lonate Pozzolo

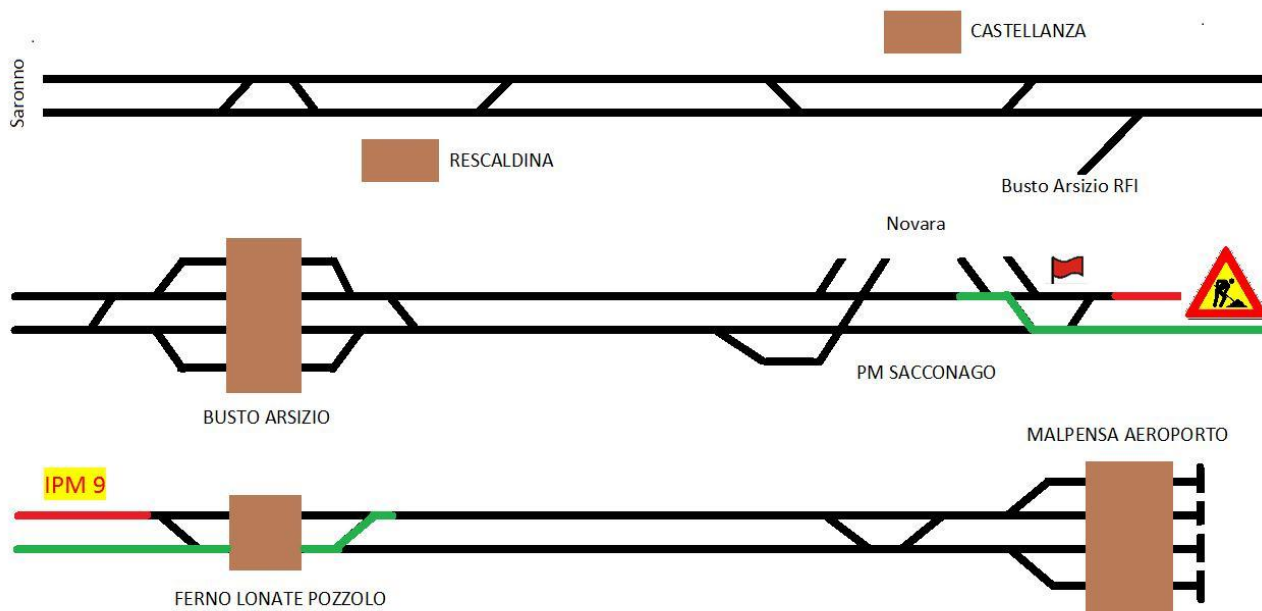


Figura 7-11: Rappresentazione dell'interruzione della circolazione sul binario dispari tra il bivio Sacconago e Ferno Lonate Pozzolo.

L'interruzione programmata 9 prevede la sospensione della circolazione sul binario dispari fra i segnali di protezione del Bivio Sacconago e i segnali di protezione di Ferno Lonate Pozzolo e la circolazione a senso alternato di tutti i treni sul binario pari rimasto in esercizio. L'interruzione si estende per 2764 m ed è in vigore dalle 10:00 alle 16:00. Inoltre, a causa della localizzazione dei deviatori, i treni dispari iniziano la marcia su binario di destra alla loro uscita dal Bivio Sacconago e lo terminano in uscita dall'impianto di Ferno Lonate Pozzolo: così circolando, effettuano straordinariamente tutti servizio viaggiatori sul binario II di Ferno Lonate Pozzolo, allungando così il tratto destinato alla circolazione a senso alternato che raggiunge l'estensione di circa 5.5 km.

L'analisi dei seguenti dati è stato riportato nell'allegato 12:

- La suddivisione in termini percentuali dei treni in arrivo nell'impianto in esame in base alla fascia di ritardo quando è presente l'interruzione programmata 9 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e solo le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.
- Il confronto fra gli andamenti durante l'arco della giornata dell'indice di puntualità ai cinque minuti calcolato su base oraria riferito ad un solo gruppo di corse (IP5' h) e la

rappresentazione del numero di treni che giungono nell'impianto in esame con un ritardo inferiore a 5', senza interruzioni in linea e quando è presente l'interruzione programmata 9 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.

- Il confronto fra gli *indici di puntualità ai cinque minuti calcolati su base giornaliera riferiti ad un solo gruppo di corse (IP5')*, senza interruzioni in linea e quando è presente l'interruzione programmata 9 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.

7.3.9.1. IP5 riferito all'intera rete

Qui di seguito viene proposto il confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete calcolati sull'intera giornata secondo i diversi scenari. Gli scenari considerati sono: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 9 e interruzione programmata 9 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

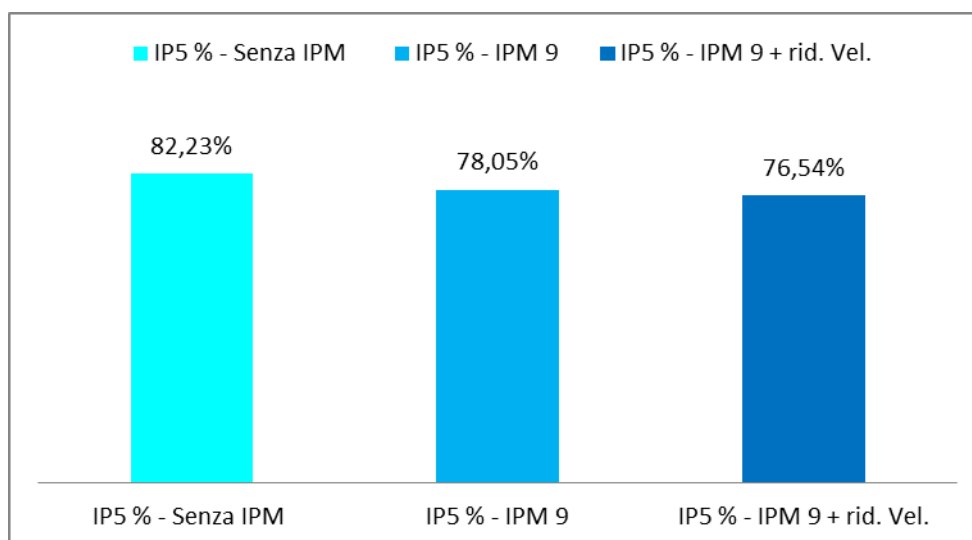


Grafico 7-14: Confronto fra gli *IP5* riferiti all'intera rete, secondo diversi scenari: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 9 e interruzione programmata 9 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

Il confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete per diversi scenari evidenzia quanto segue:

- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario senza interruzioni programmate: 82,23%.
- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario che prevede l'interruzione programmata 9: 78,05% con una flessione del 4,18% rispetto allo scenario senza interruzione.

- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario che prevede l'interruzione programmata 9 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo: 76,54% con una flessione del 5,69% rispetto allo scenario senza interruzione e una flessione del 1,51% rispetto allo scenario con la sola interruzione programmata 9 senza riduzione della velocità sul binario attiguo.

7.3.9.2. Gli altri dati

L'osservazione dei dati tabulati in allegato 12 mostra come le corse risentono della circolazione a senso unico alternato proprio perché la struttura di orario comporta per esse attese aggiuntive nell'impianto di Ferno Lonate Pozzolo e in corrispondenza del bivio Sacconago dove vengono effettuate le operazioni di incrocio. L'incrocio a Ferno Lonate Pozzolo si traduce nell'attesa da parte delle corse pari dei treni dispari che percorrono il binario rimasto in esercizio, mentre l'incrocio in corrispondenza del bivio Sacconago comporta il viceversa.

Durante l'interruzione, la successione dei treni nei due sensi di marcia che percorrono l'unico binario rimasto in esercizio generano ripercussioni a catena con un mutuo scambio di ritardi dovuti alle attese del treno incrociante.

I treni dispari in particolare risultano penalizzati rispetto a quelli pari perché affrontano il percorso deviato per poter superare il tratto interessato dalle lavorazioni.

Un fattore che consente di contenere gli effetti negativi, a dispetto della lunghezza del cantiere stesso, è che si tratta di una interruzione che riguarda solamente la diramazione per Malpensa Aeroporto e non quella per Novara: i treni da e per Novara non devono affrontare l'interruzione poiché essa si colloca oltre il Bivio Sacconago e questo comporta un minor numero di treni coinvolti e quindi un minor numero di interferenze. I treni per Novara quindi, non affrontano l'interruzione ma potrebbero risentire al più dei ritardi che i treni da e per Malpensa Aeroporto subiscono a causa dei lavori lungo la linea.

L'imposizione di una limitazione di velocità a 60 km/h sul binario adiacente le lavorazioni causa dei ritardi aggiuntivi dovuti all'aumento dei tempi di percorrenza: questo amplifica gli effetti negativi esposti precedentemente.

I grafici che espongono le rappresentazioni sul totale dei treni in arrivo negli impianti, divisi per fascia oraria, avvalorano quanto detto in precedenza in particolare:

- Corse con numerazione pari in arrivo nell'impianto di Saronno con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame: 10% (contro il 2% dello scenario senza interruzione), ossia 13 treni su 126.
- Corse con numerazione pari in arrivo nell'impianto di Saronno con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame e la riduzione di velocità sul binario adiacente: 18% (contro il 2% dello scenario senza interruzione e il 10% dello scenario con l'interruzione senza limitazione di velocità), ossia 23 treni su 126.

- Corse con numerazione dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame: 38% (contro il 27% dello scenario senza interruzione), ossia 49 treni su 128.
- Corse con numerazione dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame e la riduzione di velocità sul binario adiacente: 40% (contro il 27% dello scenario senza interruzione e contro il 38% dello scenario con l'interruzione senza limitazione di velocità), ossia 51 treni su 128.

Quanto detto in precedenza, è confermato anche dal confronto degli indici di puntualità ai 5' calcolati su base giornaliera riferiti ad una sola direttrice (*IP5*); in particolare si osserva che:

- L'*IP5*' calcolato considerando solo le corse pari in arrivo nell'impianto di Saronno:
 - Scenario con l'interruzione in esame: 90,48% (contro il 97,62% dello scenario senza interruzione)
 - Scenario con l'interruzione in esame e la limitazione di velocità sul binario attiguo: 81,75% (contro il 97,62% dello scenario senza interruzione e il 90,48% dello scenario con l'interruzione programmata in esame senza limitazione di velocità).
- L'*IP5*' calcolato considerando solo le corse dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto:
 - Scenario con l'interruzione in esame: 61,72% (contro il 72,66% dello scenario senza interruzione)
 - Scenario con l'interruzione in esame e la limitazione di velocità sul binario attiguo: 60,16% (contro il 72,66% dello scenario senza interruzione e contro il 61,72% rispetto allo scenario con l'interruzione programmata in esame senza limitazione di velocità)

La stazione di termine corsa non si colloca in prossimità del cantiere per le corse pari, pertanto esse hanno la possibilità di un recupero parziale dei ritardi maturati ed un riallineamento alla traccia oraria pianificata; invece, le corse dispari hanno più difficoltà in questo perché il cantiere si colloca vicino alla stazione di Malpensa Aeroporto. Generalmente infatti, più la stazione di termine corsa risulta distante dal punto di installazione del cantiere e più i ritardi maturati dalla corsa verranno recuperati almeno in parte: questo si verifica grazie alla struttura di orario che contempla un allungamento della traccia oraria del 7% consentendo pertanto alcuni margini di recupero.

Per limitare il disagio derivante dalle interruzioni nei confronti dei passeggeri in funzione della domanda di trasporto, si procede agevolando i treni con numerazione pari al mattino e con numerazione dispari nel pomeriggio; questo non determina un miglioramento della puntualità ma solo una redistribuzione del ritardo, penalizzando così le corse con un minor numero di passeggeri a bordo. Tuttavia, non sempre è possibile l'agevolazione delle corse secondo il criterio sopracitato: la struttura di orario rende preferibile agevolare diversamente le corse nel tentativo di minimizzare il ritardo complessivo.

3 ottobre 2013

Osservando l'andamento dell'indice di puntualità ai 5' calcolati su base oraria per un solo gruppo di corse (*IP5' h*) in arrivo in un dato impianto, si ha un recupero di puntualità nelle ore centrali della giornata rispetto alle fasce orarie di punta: questo perché si ha una riduzione dell'offerta legata ad alcuni servizi e quindi gli effetti descritti in precedenza interessano un numero inferiore di corse.

7.3.10. IPM 10: interruzione della circolazione sul binario pari fra Ferno Lonate Pozzolo e il bivio Sacconago

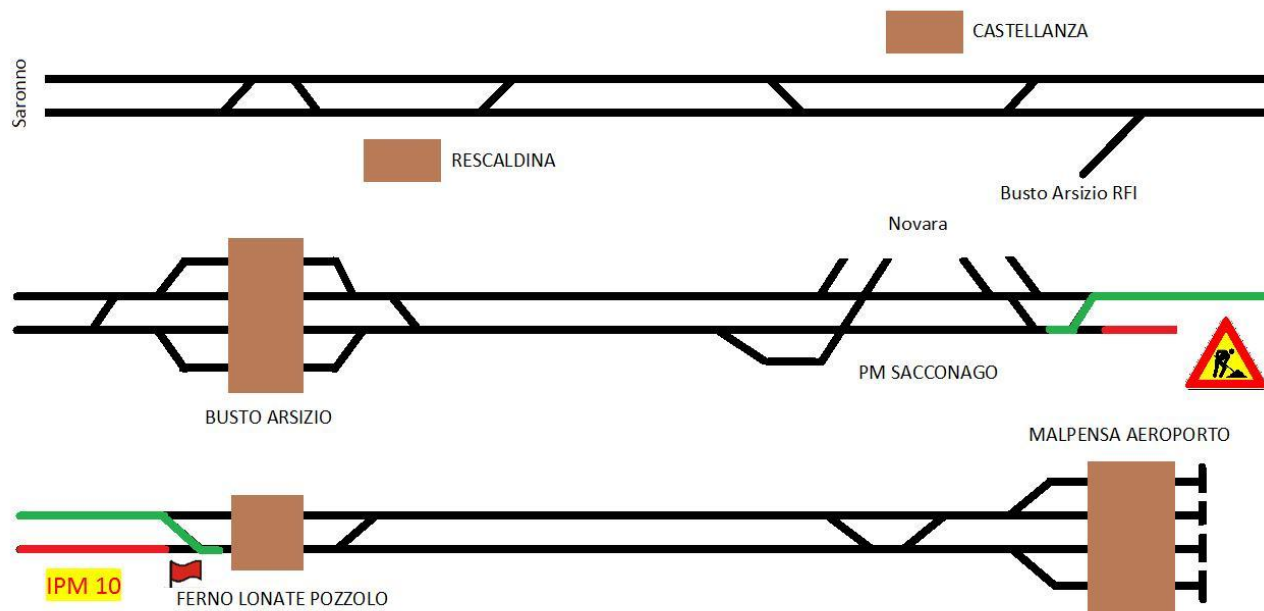


Figura 7-12: Rappresentazione dell'interruzione della circolazione sul binario pari tra Ferno Lonate Pozzolo e il bivio Sacconago.

L'interruzione programmata 10 prevede la sospensione della circolazione sul binario pari fra i segnali di protezione di Ferno Lonate Pozzolo e i segnali di protezione del Bivio Sacconago e la circolazione a senso alternato di tutti i treni sul binario dispari rimasto in esercizio. L'interruzione si estende per 2764 m ed è in vigore dalle 10:00 alle 16:00.

L'analisi dei seguenti dati è stato riportato nell'allegato 13:

- La suddivisione in termini percentuali dei treni in arrivo nell'impianto in esame in base alla fascia di ritardo quando è presente l'interruzione programmata 10 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e solo le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.
- Il confronto fra gli andamenti durante l'arco della giornata *dell'indice di puntualità ai cinque minuti calcolato su base oraria riferito ad un solo gruppo di corse (IP5' h)* e la rappresentazione del numero di treni che giungono nell'impianto in esame con un ritardo inferiore a 5', senza interruzioni in linea e quando è presente l'interruzione programmata 10 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le

corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.

- Il confronto fra gli *indici di puntualità ai cinque minuti calcolati su base giornaliera riferiti ad un solo gruppo di corse (IP5')*, senza interruzioni in linea e quando è presente l'interruzione programmata 10 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.

7.3.10.1. IP5 riferito all'intera rete

Qui di seguito viene proposto il confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete calcolati sull'intera giornata secondo i diversi scenari. Gli scenari considerati sono: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 10 e interruzione programmata 10 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

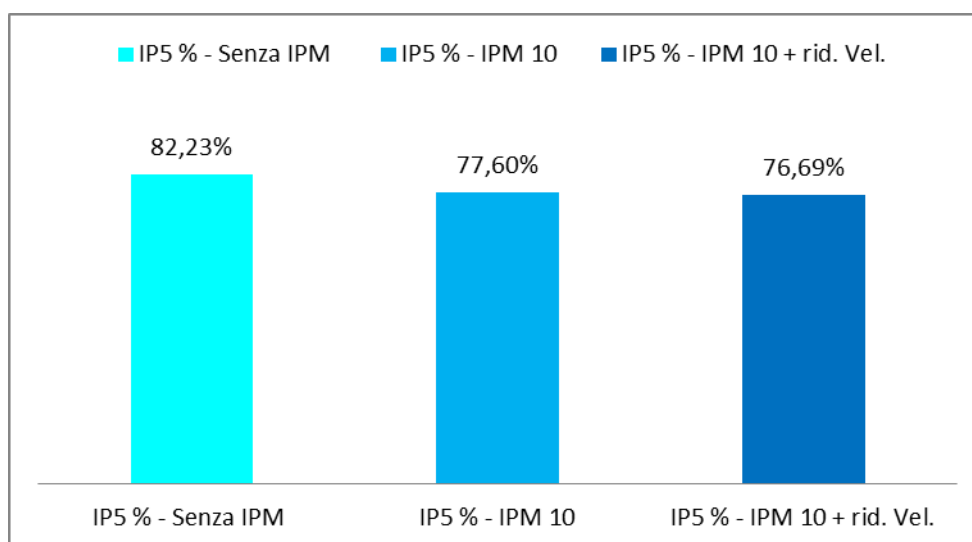


Grafico 7-15: Confronto fra gli *IP5* riferiti all'intera rete, secondo diversi scenari: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 10 e interruzione programmata 10 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

Il confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete per diversi scenari evidenzia quanto segue:

- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario senza interruzioni programmate: 82,23%.
- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario che prevede l'interruzione programmata 10: 77,60% con una flessione del 4,63% rispetto allo scenario senza interruzione.
- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario che prevede l'interruzione programmata 10 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo: 76,69% con una flessione del 5,54% rispetto allo scenario senza interruzione e una flessione del 0,91% rispetto allo scenario con la sola interruzione programmata 10 senza riduzione della velocità sul binario attiguo.

7.3.10.2. Gli altri dati

L'osservazione dei dati tabulati in allegato 13 mostra come le corse risentono della circolazione a senso unico alternato proprio perché la struttura di orario comporta per esse attese aggiuntive nell'impianto di Ferno Lonate Pozzolo e in corrispondenza del bivio Sacconago dove vengono effettuate le operazioni di incrocio. L'incrocio a Ferno Lonate Pozzolo si traduce nell'attesa da parte delle corse pari dei treni dispari che percorrono il binario rimasto in esercizio, mentre l'incrocio in corrispondenza del bivio Sacconago comporta il viceversa.

Durante l'interruzione, la successione dei treni nei due sensi di marcia che percorrono l'unico binario rimasto in esercizio generano ripercussioni a catena con un mutuo scambio di ritardi dovuti alle attese del treno incrociante.

I treni pari in particolare risultano penalizzati rispetto a quelli dispari perché affrontano il percorso deviato per poter superare il tratto interessato dalle lavorazioni.

Un fattore che consente di contenere gli effetti negativi, a dispetto della lunghezza del cantiere stesso, è che si tratta di una interruzione che riguarda solamente la diramazione per Malpensa Aeroporto e non quella per Novara: i treni da e per Novara non devono affrontare l'interruzione poiché essa si colloca oltre il Bivio Sacconago e questo comporta un minor numero di treni coinvolti quindi un minor numero di interferenze. I treni per Novara quindi, non affrontano l'interruzione ma potrebbero risentire al più dei ritardi che i treni da e per Malpensa Aeroporto subiscono a causa dei lavori lungo la linea.

L'imposizione di una limitazione di velocità a 60 km/h sul binario adiacente le lavorazioni causa dei ritardi aggiuntivi dovuti all'aumento dei tempi di percorrenza: questo amplifica gli effetti negativi esposti precedentemente.

I grafici che espongono le rappresentazioni sul totale dei treni in arrivo negli impianti, divisi per fascia oraria, avvalorano quanto detto in precedenza in particolare:

- Corse con numerazione pari in arrivo nell'impianto di Saronno con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame: 9% (contro il 2% dello scenario senza interruzione), ossia 11 treni su 126.
- Corse con numerazione pari in arrivo nell'impianto di Saronno con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame e la riduzione di velocità sul binario adiacente: 18% (contro il 2% dello scenario senza interruzione e il 9% dello scenario con l'interruzione senza limitazione di velocità), ossia 23 treni su 126.
- Corse con numerazione dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame: 30% (contro il 27% dello scenario senza interruzione), ossia 38 treni su 128.
- Corse con numerazione dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame e la riduzione di

velocità sul binario adiacente: 39% (contro il 27% dello scenario senza interruzione e contro il 30% dello scenario con l'interruzione senza limitazione di velocità), ossia 50 treni su 128.

Quanto detto in precedenza, è confermato anche dal confronto degli indici di puntualità ai 5' calcolati su base giornaliera riferiti ad una sola direttrice (*IP5*); in particolare si osserva che:

- L'*IP5*' calcolato considerando solo le corse pari in arrivo nell'impianto di Saronno:
 - Scenario con l'interruzione in esame: 91,27% (contro il 97,62% dello scenario senza interruzione)
 - Scenario con l'interruzione in esame e la limitazione di velocità sul binario attiguo: 82,54% (contro il 97,62% dello scenario senza interruzione e il 91,27% dello scenario con l'interruzione programmata in esame senza limitazione di velocità).
- L'*IP5*' calcolato considerando solo le corse dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto:
 - Scenario con l'interruzione in esame: 69,53% (contro il 72,66% dello scenario senza interruzione)
 - Scenario con l'interruzione in esame e la limitazione di velocità sul binario attiguo: 60,94% (contro il 72,66% dello scenario senza interruzione e contro il 69,53% rispetto allo scenario con l'interruzione programmata in esame senza limitazione di velocità)

La stazione di termine corsa non si colloca in prossimità del cantiere per le corse pari pertanto hanno la possibilità di un recupero parziale dei ritardi maturati ed un riallineamento alla traccia oraria pianificata; invece, le corse dispari hanno più difficoltà in questo perché il cantiere si colloca vicino alla stazione di Malpensa Aeroporto. Generalmente infatti, più la stazione di termine corsa risulta distante dal punto di installazione del cantiere e più i ritardi maturati dalla corsa verranno recuperati almeno in parte: questo si verifica grazie alla struttura di orario che contempla un allungamento della traccia oraria del 7% consentendo pertanto alcuni margini di recupero.

Per limitare il disagio derivante dalle interruzioni nei confronti dei passeggeri in funzione della domanda di trasporto, si procede agevolando i treni con numerazione pari al mattino e con numerazione dispari nel pomeriggio; questo non determina un miglioramento della puntualità ma solo una redistribuzione del ritardo, penalizzando così le corse con un minor numero di passeggeri a bordo. Tuttavia, non sempre è possibile l'agevolazione delle corse secondo il criterio sopracitato: la struttura di orario rende preferibile agevolare diversamente le corse nel tentativo di minimizzare il ritardo complessivo.

Osservando l'andamento dell'indice di puntualità ai 5' calcolati su base oraria per un solo gruppo di corse (*IP5' h*) in arrivo in un dato impianto, si ha un recupero di puntualità nelle ore centrali della giornata rispetto alle fasce orarie di punta: questo perché si ha una riduzione dell'offerta legata ad alcuni servizi e quindi gli effetti descritti in precedenza interessano un numero inferiore di corse.

7.3.11. IPM 11: interruzione della circolazione sul binario dispari fra Ferno Lonate Pozzolo e Malpensa Aeroporto

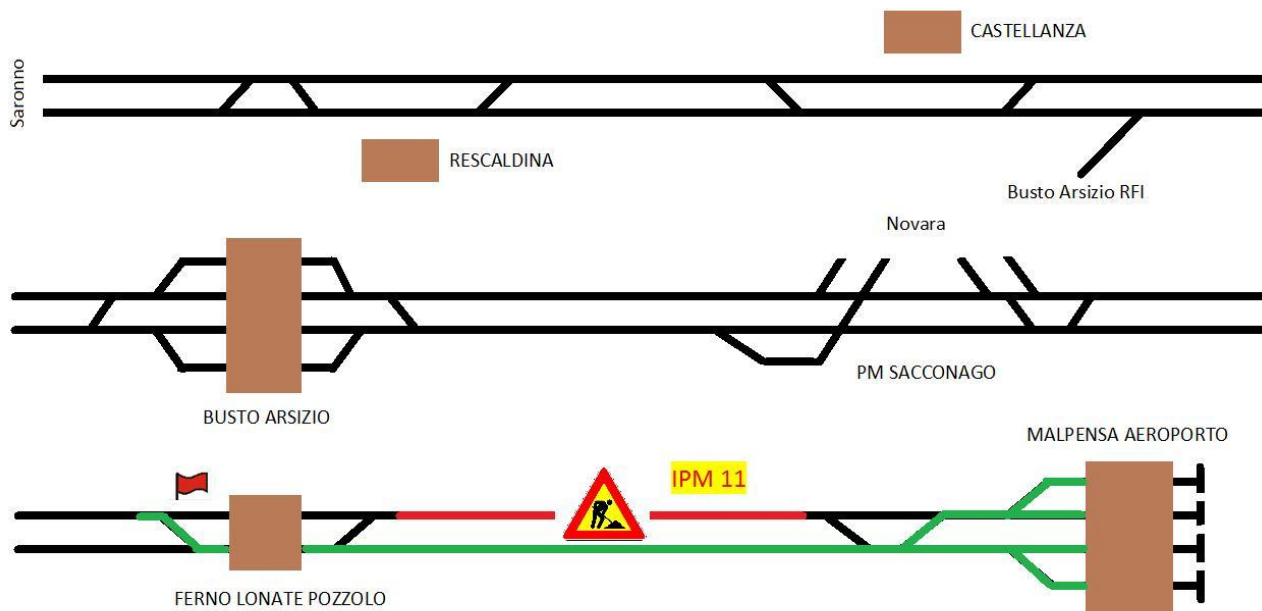


Figura 7-13: Rappresentazione dell'interruzione della circolazione sul binario dispari tra Ferno Lonate Pozzolo e Malpensa Aeroporto.

L'interruzione programmata 11 prevede la sospensione della circolazione sul binario dispari fra i segnali di protezione di Ferno Lonate Pozzolo e i segnali di protezione di Malpensa Aeroporto e la circolazione a senso alternato di tutti i treni sul binario pari rimasto in esercizio. L'interruzione si estende per 2634 m ed è in vigore dalle 10:00 alle 16:00. Inoltre, a causa della localizzazione dei deviatori, i treni pari iniziano la marcia su binario di destra alla loro uscita dall'impianto di Malpensa e lo terminano in uscita dall'impianto di Ferno Lonate Pozzolo: così circolando, effettuano straordinariamente tutti servizio viaggiatori sul binario II di Ferno Lonate Pozzolo, allungando così il tratto destinato alla circolazione a senso alternato che raggiunge l'estensione di 5 km circa.

L'analisi dei seguenti dati è stato riportato nell'allegato 14:

- La suddivisione in termini percentuali dei treni in arrivo nell'impianto in esame in base alla fascia di ritardo quando è presente l'interruzione programmata 11 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e solo le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.
- Il confronto fra gli andamenti durante l'arco della giornata dell'indice di puntualità ai cinque minuti calcolato su base oraria riferito ad un solo gruppo di corse (IP5' h) e la

rappresentazione del numero di treni che giungono nell'impianto in esame con un ritardo inferiore a 5', senza interruzioni in linea e quando è presente l'interruzione programmata 11 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.

- Il confronto fra gli *indici di puntualità ai cinque minuti calcolati su base giornaliera riferiti ad un solo gruppo di corse (IP5')*, senza interruzioni in linea e quando è presente l'interruzione programmata 11 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.

7.3.11.1. IP5 riferito all'intera rete

Qui di seguito viene proposto il confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete calcolati sull'intera giornata secondo i diversi scenari. Gli scenari considerati sono: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 11 e interruzione programmata 11 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

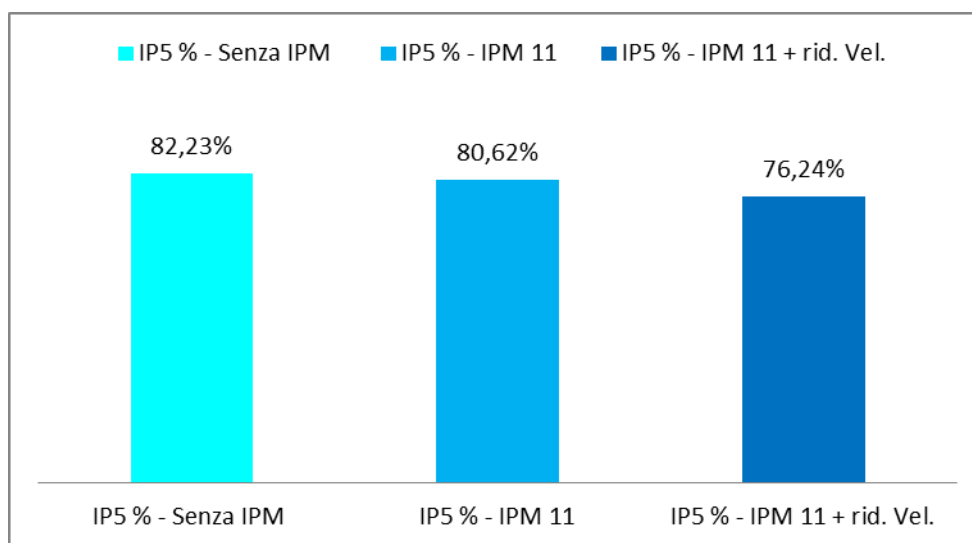


Grafico 7-16: Confronto fra gli *IP5* riferiti all'intera rete, secondo diversi scenari: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 11 e interruzione programmata 11 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

Il confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete per diversi scenari evidenzia quanto segue:

- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario senza interruzioni programmate: 82,23%.
- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario che prevede l'interruzione programmata 11: 80,62% con una flessione del 1,61% rispetto allo scenario senza interruzione.

- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario che prevede l'interruzione programmata 11 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo: 76,24% con una flessione del 5,99% rispetto allo scenario senza interruzione e una flessione del 4,38% rispetto allo scenario con la sola interruzione programmata 11 senza riduzione della velocità sul binario attiguo.

7.3.11.2. Gli altri dati

L'osservazione dei dati tabulati in allegato 14 mostra come le corse risentono della circolazione a senso unico alternato proprio perché la struttura di orario comporta per esse attese aggiuntive nell'impianto di Ferno Lonate Pozzolo dove vengono effettuate le operazioni di incrocio. L'incrocio a Ferno Lonate Pozzolo si traduce nell'attesa da parte delle corse dispari dei treni pari che percorrono il binario rimasto in esercizio.

Durante l'interruzione, la successione dei treni nei due sensi di marcia che percorrono l'unico binario rimasto in esercizio generano ripercussioni a catena con un mutuo scambio di ritardi dovuti alle attese del treno incrociante.

Si osserva la creazione di un effetto imbuto in entrata ed in uscita dall'impianto di Malpensa Aeroporto che causa ritardi in cascata per tutte le corse: infatti vengono arrestati ai segnali di protezione di Ferno Lonate Pozzolo i treni con numerazione dispari fintantoché il treno (avente numerazione pari) che utilizza il medesimo piazzamento, non ha liberato il proprio binario di partenza. A causa dei ritardi in cascata descritti in precedenza, si assiste ad una liberazione tardiva da parte di alcune corse del proprio binario di stazionamento.

I treni dispari in particolare risultano penalizzati rispetto a quelli pari perché affrontano il percorso deviato per poter superare il tratto interessato dalle lavorazioni.

Un fattore che consente di contenere gli effetti negativi, a dispetto della lunghezza del cantiere stesso, è che si tratta di una interruzione che riguarda solamente la diramazione per Malpensa Aeroporto e non quella per Novara: i treni da e per Novara non devono affrontare l'interruzione poiché essa si colloca oltre il Bivio Sacconago questo comporta un minor numero di treni in circolazione quindi di interferenze. I treni per Novara quindi, non affrontano l'interruzione ma potrebbero risentire al più dei ritardi che i treni da e per Malpensa Aeroporto maturano causa dei lavori lungo la linea.

L'imposizione di una limitazione di velocità a 60 km/h sul binario adiacente le lavorazioni causa dei ritardi aggiuntivi dovuti all'aumento dei tempi di percorrenza: questo amplifica gli effetti negativi esposti precedentemente.

I grafici che espongono le rappresentazioni sul totale dei treni in arrivo negli impianti, divisi per fascia oraria, avvalorano quanto detto in precedenza in particolare:

- Corse con numerazione pari in arrivo nell'impianto di Saronno con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame: 6% (contro il 2% dello scenario senza interruzione), ossia 8 treni su 126.
- Corse con numerazione pari in arrivo nell'impianto di Saronno con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame e la riduzione di velocità sul binario adiacente: 15% (contro il 2% dello scenario senza interruzione e il 6% dello scenario con l'interruzione senza limitazione di velocità), ossia 19 treni su 126.
- Corse con numerazione dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame: 31% (contro il 27% dello scenario senza interruzione), ossia 40 treni su 128.
- Corse con numerazione dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame e la riduzione di velocità sul binario adiacente: 41% (contro il 27% dello scenario senza interruzione e contro il 31% dello scenario con l'interruzione senza limitazione di velocità), ossia 52 treni su 128.

Quanto detto in precedenza, è confermato anche dal confronto degli indici di puntualità ai 5' calcolati su base giornaliera riferiti ad una sola direttrice (*IP5*); in particolare si osserva che:

- L'*IP5*' calcolato considerando solo le corse pari in arrivo nell'impianto di Saronno:
 - Scenario con l'interruzione in esame: 94,44% (contro il 97,62% dello scenario senza interruzione)
 - Scenario con l'interruzione in esame e la limitazione di velocità sul binario attiguo: 84,92% (contro il 97,62% dello scenario senza interruzione e il 94,44% dello scenario con l'interruzione programmata in esame senza limitazione di velocità).
- L'*IP5*' calcolato considerando solo le corse dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto:
 - Scenario con l'interruzione in esame: 68,75% (contro il 72,66% dello scenario senza interruzione)
 - Scenario con l'interruzione in esame e la limitazione di velocità sul binario attiguo: 59,38% (contro il 72,66% dello scenario senza interruzione e contro il 68,75% rispetto allo scenario con l'interruzione programmata in esame senza limitazione di velocità)

La stazione di termine corsa non si colloca in prossimità del cantiere per le corse pari che pertanto hanno la possibilità di un recupero parziale dei ritardi maturati ed un riallineamento alla traccia oraria pianificata; invece, le corse dispari hanno più difficoltà in questo perché il cantiere si colloca a ridosso alla stazione di Malpensa Aeroporto. Generalmente infatti, più la stazione di termine corsa risulta distante dal punto di installazione del cantiere e più i ritardi maturati dalla corsa verranno recuperati almeno in parte: questo si verifica grazie alla struttura di orario che contempla un allungamento della traccia oraria del 7% consentendo pertanto alcuni margini di recupero.

3 ottobre 2013

In questo caso sembra poco efficace dare precedenza ai treni pari durante il mattino e ai treni dispari nel pomeriggio perché la minimizzazione dei ritardi dipende fortemente dalla fluidità degli ingressi e delle uscite dall'impianto di Malpensa Aeroporto: appare pertanto più efficace, al fine di limitare gli effetti negativi, ripianificare i piazzamenti di Malpensa Aeroporto adattandoli alla luce dei ritardi delle singole corse. Tuttavia la riprogettazione dei piazzamenti di un impianto è un compito complesso che richiede la revisione dei turni macchina, dei turni del personale e di molti altri fattori e questo esula dall'obiettivo del lavoro. Inoltre, non effettuando questa ripianificazione ci si pone nell'ipotesi più critica quindi più a favore di sicurezza.

Osservando l'andamento dell'indice di puntualità ai 5' calcolati su base oraria per un solo gruppo di corse (*IP5' h*) in arrivo in un dato impianto, si nota un recupero di puntualità nelle ore centrali della giornata rispetto alle fasce orarie di punta: questo perché si ha una riduzione dell'offerta legata ad alcuni servizi e quindi gli effetti descritti in precedenza interessano un numero inferiore di corse.

7.3.12. IPM 12: interruzione della circolazione sul binario pari fra Malpensa Aeroporto e Ferno Lonate Pozzolo

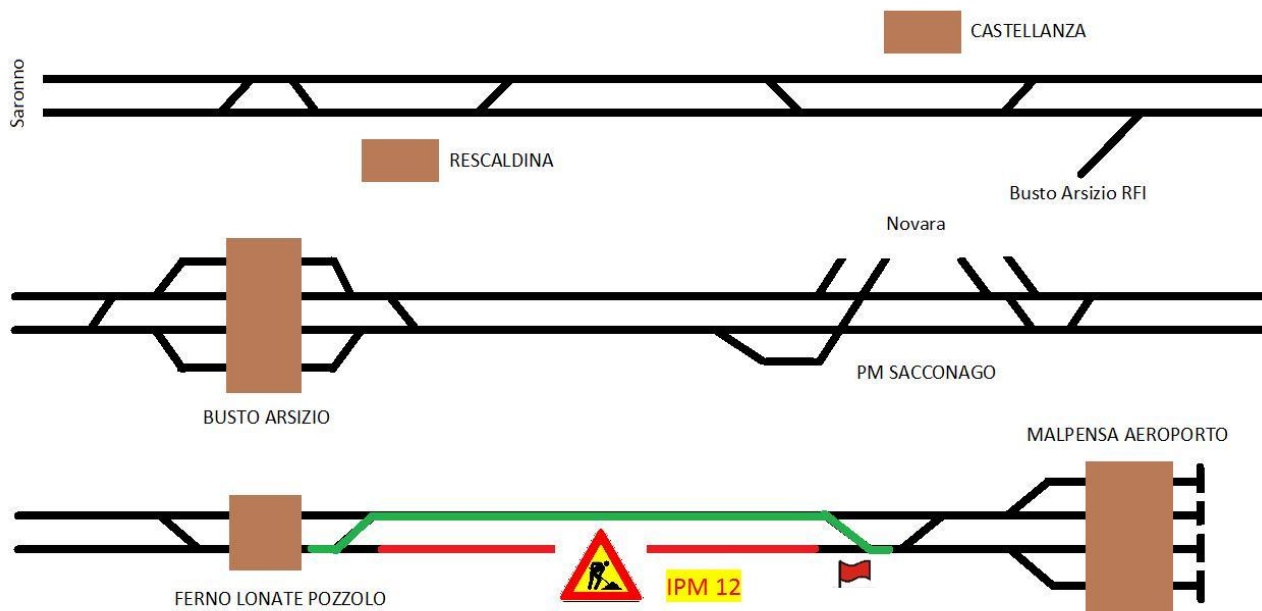


Figura 7-14: Rappresentazione dell'interruzione della circolazione sul binario pari tra Malpensa Aeroporto e Ferno Lonate Pozzolo.

L'interruzione programmata 12 prevede la sospensione della circolazione sul binario pari fra i segnali di protezione di Malpensa Aeroporto e i segnali di protezione di Ferno Lonate Pozzolo e la circolazione a senso alternato di tutti i treni sul binario dispari rimasto in esercizio. L'interruzione si estende per 2634 m ed è in vigore dalle 10:00 alle 16:00.

L'analisi dei seguenti dati è stato riportato nell'allegato 15:

- La suddivisione in termini percentuali dei treni in arrivo nell'impianto in esame in base alla fascia di ritardo quando è presente l'interruzione programmata 12 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e solo le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.
- Il confronto fra gli andamenti durante l'arco della giornata *dell'indice di puntualità ai cinque minuti calcolato su base oraria riferito ad un solo gruppo di corse (IP5' h)* e la rappresentazione del numero di treni che giungono nell'impianto in esame con un ritardo inferiore a 5', senza interruzioni in linea e quando è presente l'interruzione programmata 12 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le

corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.

- Il confronto fra gli *indici di puntualità ai cinque minuti calcolati su base giornaliera riferiti ad un solo gruppo di corse (IP5')*, senza interruzioni in linea e quando è presente l'interruzione programmata 12 con e senza riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. Si sono considerate solo le corse in arrivo con numerazione pari per l'impianto di Saronno e le corse in arrivo con numerazione dispari per l'impianto di Malpensa Aeroporto.

7.3.12.1. IP5 riferito all'intera rete

Qui di seguito viene proposto il confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete calcolati sull'intera giornata secondo i diversi scenari. Gli scenari considerati sono: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 12 e interruzione programmata 12 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

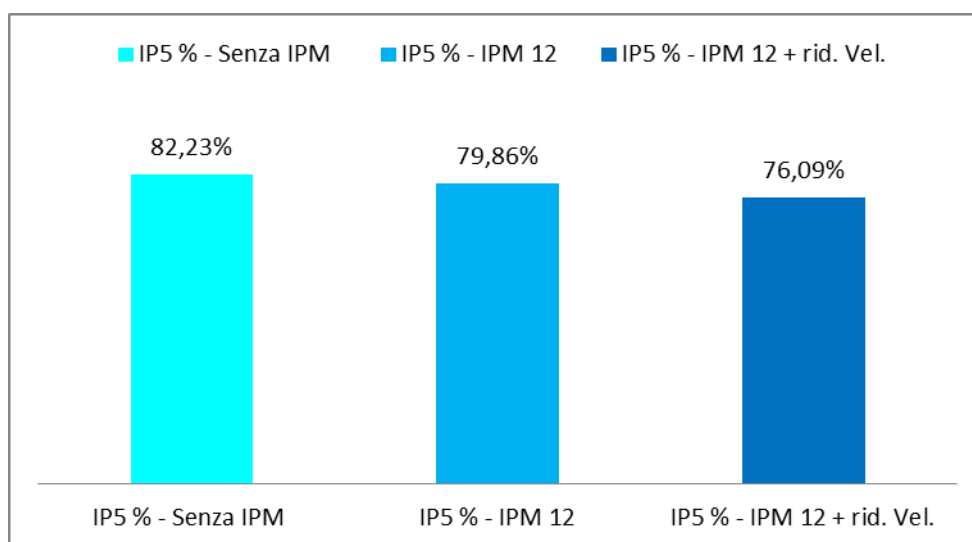


Grafico 7-17: Confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete, secondo diversi scenari: senza interruzioni in linea, presenza dell'interruzione programmata 12 e interruzione programmata 12 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

Il confronto fra gli IP5 riferiti all'intera rete per diversi scenari evidenzia quanto segue:

- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario senza interruzioni programmate: 82,23%.
- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario che prevede l'interruzione programmata 12: 79,86% con una flessione del 2,37% rispetto allo scenario senza interruzione.
- IP5 riferito all'intera rete per lo scenario che prevede l'interruzione programmata 12 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo: 76,09% con una flessione del 6,14% rispetto allo scenario senza interruzione e una flessione del 3,77% rispetto allo scenario con la sola interruzione programmata 12 senza riduzione della velocità sul binario attiguo.

7.3.12.2. Gli altri dati

L'osservazione dei dati tabulati in allegato 15 mostra come le corse risentono della circolazione a senso unico alternato proprio perché la struttura di orario comporta per esse attese aggiuntive nell'impianto di Ferno Lonate Pozzolo dove vengono effettuate le operazioni di incrocio. L'incrocio a Ferno Lonate Pozzolo si traduce nell'attesa da parte delle corse dispari dei treni pari che percorrono il binario rimasto in esercizio.

Durante l'interruzione, la successione dei treni nei due sensi di marcia che percorrono l'unico binario rimasto in esercizio generano ripercussioni a catena con un mutuo scambio di ritardi dovuti alle attese del treno incrociante.

Si osserva la creazione di un effetto imbuto in entrata ed in uscita dall'impianto di Malpensa Aeroporto che causa ritardi in cascata per tutte le corse: infatti vengono arrestati ai segnali di protezione di Ferno Lonate Pozzolo i treni con numerazione dispari fintantoché il treno (avente numerazione pari) che utilizza il medesimo piazzamento, non ha liberato il proprio binario di partenza. A causa dei ritardi in cascata descritti in precedenza, si assiste ad una liberazione tardiva da parte di alcune corse del proprio binario di stazionamento.

I treni dispari in particolare risultano penalizzati rispetto a quelli pari perché affrontano il percorso deviato per poter superare il tratto interessato dalle lavorazioni.

Un fattore che consente di contenere gli effetti negativi, a dispetto della lunghezza del cantiere stesso, è che si tratta di una interruzione che riguarda solamente la diramazione per Malpensa Aeroporto e non quella per Novara: i treni da e per Novara non devono affrontare l'interruzione poiché essa si colloca oltre il Bivio Sacconago questo comporta un minor numero di treni in circolazione quindi di interferenze. I treni per Novara quindi, non affrontano l'interruzione ma potrebbero risentire al più dei ritardi che i treni da e per Malpensa Aeroporto maturano causa dei lavori lungo la linea.

L'imposizione di una limitazione di velocità a 60 km/h sul binario adiacente le lavorazioni causa dei ritardi aggiuntivi dovuti all'aumento dei tempi di percorrenza: questo amplifica gli effetti negativi esposti precedentemente.

I grafici che espongono le rappresentazioni sul totale dei treni in arrivo negli impianti, divisi per fascia oraria, avvalorano quanto detto in precedenza in particolare:

- Corse con numerazione pari in arrivo nell'impianto di Saronno con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame: 10% (contro il 2% dello scenario senza interruzione), ossia 13 treni su 126.
- Corse con numerazione pari in arrivo nell'impianto di Saronno con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame e la riduzione di velocità sul binario

adiacente: 17% (contro il 2% dello scenario senza interruzione e il 10% dello scenario con l'interruzione senza limitazione di velocità), ossia 21 treni su 126.

- Corse con numerazione dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame: 28% (contro il 27% dello scenario senza interruzione), ossia 36 treni su 128.
- Corse con numerazione dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con un ritardo superiore a 5', quando è in vigore l'interruzione programmata in esame e la riduzione di velocità sul binario adiacente: 40% (contro il 27% dello scenario senza interruzione e contro il 28% dello scenario con l'interruzione senza limitazione di velocità), ossia 50 treni su 128.

Quanto detto in precedenza, è confermato anche dal confronto degli indici di puntualità ai 5' calcolati su base giornaliera riferiti ad una sola direttrice (*IP5*); in particolare si osserva che:

- L'*IP5*' calcolato considerando solo le corse pari in arrivo nell'impianto di Saronno:
 - Scenario con l'interruzione in esame: 89,68% (contro il 97,62% dello scenario senza interruzione)
 - Scenario con l'interruzione in esame e la limitazione di velocità sul binario attiguo: 83,33% (contro il 97,62% dello scenario senza interruzione e il 89,68% dello scenario con l'interruzione programmata in esame senza limitazione di velocità).
- L'*IP5*' calcolato considerando solo le corse dispari in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto:
 - Scenario con l'interruzione in esame: 71,88% (contro il 72,66% dello scenario senza interruzione)
 - Scenario con l'interruzione in esame e la limitazione di velocità sul binario attiguo: 60,16% (contro il 72,66% dello scenario senza interruzione e contro 71,88% rispetto allo scenario con l'interruzione programmata in esame senza limitazione di velocità)

La stazione di termine corsa non si colloca in prossimità del cantiere per le corse pari che pertanto hanno la possibilità di un recupero parziale dei ritardi maturati ed un riallineamento alla traccia oraria pianificata; invece, le corse dispari hanno più difficoltà in questo perché il cantiere si colloca a ridosso alla stazione di Malpensa Aeroporto. Generalmente infatti, più la stazione di termine corsa risulta distante dal punto di installazione del cantiere e più i ritardi maturati dalla corsa verranno recuperati almeno in parte: questo si verifica grazie alla struttura di orario che contempla un allungamento della traccia oraria del 7% consentendo pertanto alcuni margini di recupero.

In questo caso sembra poco efficace dare precedenza ai treni pari durante il mattino e ai treni dispari nel pomeriggio perché la minimizzazione dei ritardi dipende fortemente dalla fluidità degli ingressi e delle uscite dall'impianto di Malpensa Aeroporto: appare pertanto più efficace, al fine di limitare gli effetti negativi, ripianificare i piazzamenti di Malpensa Aeroporto alla luce dei ritardi delle singole corse. Tuttavia la riprogettazione dei piazzamenti di un impianto è un compito complesso che richiede

3 ottobre 2013

la revisione dei turni macchina, dei turni del personale e di molti altri fattori e questo esula dall'obiettivo del lavoro. Inoltre, non effettuando questa ripianificazione ci si pone nell'ipotesi più critica quindi più a favore di sicurezza.

Osservando l'andamento dell'indice di puntualità ai 5' calcolati su base oraria per un solo gruppo di corse (IP5' h) in arrivo in un dato impianto, si nota un recupero di puntualità nelle ore centrali della giornata rispetto alle fasce orarie di punta: questo perché si ha una riduzione dell'offerta legata ad alcuni servizi e quindi gli effetti descritti in precedenza interessano un numero inferiore di corse.

7.4. Riassunto degli scenari di interruzione

Riassumendo, è possibile sintetizzare i risultati raggruppando le interruzioni sulla base dei loro effetti mettendo in evidenza le cadute di IP5; si propone una classificazione in quattro gruppi come segue:

- **Effetti trascurabili:** interruzioni i cui effetti provocano una caduta IP5 < 2%
- **Effetti limitati:** interruzioni i cui effetti provocano una caduta IP5 compresa fra il 2 % e il 4%
- **Effetti modesti:** interruzioni i cui effetti provocano una caduta IP5 compresa fra il 4 % e il 6 %
- **Effetti importanti:** interruzioni i cui effetti provocano una caduta IP5 compresa fra il 6 % e l'8%.

Caduta di IP5 per interruzione
< 2%
2 % - 4 %
4 % - 6 %
6 % - 8 %

Tabella 7-3: Classificazione delle interruzioni sulla base del loro impatto sull'IP5 riferito all'intera rete.

Appartengono al gruppo **effetti trascurabili** le interruzioni 6 e 11 senza limitazioni di velocità sul binario attiguo: i loro effetti risultano trascurabili in termini di caduta di IP5 riferito all'intera rete; è possibile pertanto il loro svolgimento durante le ore diurne senza particolari complicazioni.

Appartengono al gruppo **effetti limitati** le interruzioni 1,2 e 12 senza limitazione di velocità, 5 e 7 con e senza limitazione di velocità e l'interruzione 6 con limitazione di velocità sul binario attiguo: i loro effetti risultano di lieve entità in termini di caduta di IP5 riferito all'intera rete; è possibile pertanto il loro svolgimento durante le ore diurne accettando ritardi contenuti.

Appartengono al gruppo **effetti modesti** le interruzioni 4 senza limitazione di velocità, 8, 9, 10 con e senza limitazione di velocità e 11 solo con limitazione di velocità sul binario attiguo: i loro effetti risultano di modesta entità in termini di caduta di IP5 riferito all'intera rete; se si volesse effettuare queste interruzioni durante l'orario diurno è necessario valutare soluzioni che possano migliorare la puntualità della circolazione come per esempio soppressioni o limitazioni mirate di servizi (e loro sostituzione con autobus) che possano così ridurre le interferenze quindi gli effetti negativi.

Appartengono al gruppo **effetti importanti** tutte le altre interruzioni: i loro effetti risultano di importante entità in termini di caduta di IP5 riferito all'intera rete; è difficile il loro svolgimento durante le ore diurne e risulta preferibile dedicare loro la fascia notturna.

3 ottobre 2013

IPM	Localizzazione IPM	Situazione SENZA IPM		Situazione CON IPM		Situazione CON IPM + RID.VEL.	
		n° corse circol.	n° corse rit. >5'	n° corse rit. >5'	variaz. IP5 intera rete	n° corse rit. >5'	variaz. IP5 intera rete
1	bin. dispari fra Saronno e Rescaldina	662	118	144	-3,88%	161	-6,44%
2	bin. pari fra Saronno e Rescaldina	662	118	142	-3,57%	163	-6,75%
3	bin. dispari fra Rescaldina e Castellanza	662	118	159	-6,14%	168	-7,50%
4	bin. pari fra Rescaldina e Castellanza	662	118	145	-4,03%	163	-6,75%
5	bin. dispari fra Castellanza e Busto A.	662	118	134	-2,37%	141	-3,42%
6	bin. pari fra Castellanza e Busto A.	648	116	130	-1,64%	137	-3,17%
7	bin. dispari fra Busto A. e b. Sacconago	662	118	143	-3,73%	144	-3,88%
8	bin. pari fra Busto A. e b. Sacconago	662	118	150	-4,78%	161	-4,78%
9	bin. dispari fra b. Sacconago e Ferno L. P.	662	118	146	-4,18%	156	-5,69%
10	bin. pari fra b. Sacconago e Ferno L. P.	662	118	149	-4,63%	155	-5,54%
11	bin. dispari fra Ferno L. P. e Malpensa Aer.	662	118	129	-1,61%	158	-5,99%
12	bin. pari fra Ferno L. P. e Malpensa Aer.	662	118	134	-2,37%	159	-6,14%

Tabella 7-4: Prospetto riassuntivo dell'impatto che le singole interruzioni hanno sul numero di treni che arrivano con ritardo > 5' e la caduta dell'IP5 riferito all'intera rete.

8. Conclusioni

8.1. Obiettivi raggiunti

Questo lavoro è stato di fondamentale importanza per dimostrare la validità del programma di simulazione ferroviaria *OpenTrack*; i mesi investiti per apprendere il suo funzionamento hanno messo in luce aspetti positivi e negativi che si possono riassumere così:

- Il software è in grado di riprodurre al dettaglio il traffico simulando una circolazione ferroviaria pressoché assimilabile a quella reale: questo è il vero punto di forza del programma e permette di qualificarlo come un valido supporto decisionale.
- Il software non è in grado di operare in completa autonomia ma ha bisogno in alcuni casi dell'intervento dell'uomo: in alcune delicate operazioni di circolazione come quelle di incrocio il programma risolve le interferenze optando per la scelta che consente la minimizzazione dei ritardi. Il personale addetto al movimento tuttavia, basandosi sull'esperienza e su una visione della circolazione d'insieme, potrebbe operare delle scelte diverse non legate alla minimizzazione dei ritardi per le singole corse. Questo rappresenta un limite per il programma stesso.

Ad ogni modo è possibile affermare che *OpenTrack* è un ottimo supporto decisionale per coloro che devono affrontare problemi analoghi a quelli trattati da questo elaborato. Non solo, grazie alle numerose funzionalità del software, è possibile utilizzarlo come supporto affidabile per altri studi nel settore traendone un vantaggio di tempo, di denaro e ottenendo un risultato più preciso e affidabile di quello che si otterrebbe con gli strumenti tradizionali.

In particolare, l'utilizzo di *OpenTrack* ha portato alla definizione degli effetti che l'installazione dei singoli cantieri per le operazioni di manutenzione dell'infrastruttura causano alla circolazione ferroviaria. L'effetto è stato strettamente correlato alla caduta dell'*indice di puntualità ai cinque minuti riferito all'intera rete* (IP5) completato dall'analisi di numerosi altri dati in uscita dalle simulazioni.

La consapevolezza maturata grazie alle simulazioni della circolazione ha portato alla determinazione di un giudizio finale per ogni interruzione:

- *Interruzioni i cui effetti sono trascurabili*: se la caduta IP5 è < 2%
- *Interruzioni i cui effetti sono limitati*: se la caduta IP5 è compresa fra il 2 % e il 4%
- *Interruzioni i cui effetti sono modesti*: se la caduta IP5 è compresa fra il 4 % e il 6 %
- *Interruzioni i cui effetti sono importanti*: se la caduta IP5 è compresa fra il 6 % e l'8%.

Mentre le interruzioni appartenenti alle prime due classi possono essere poste in essere senza problemi durante il giorno, si consiglia invece l'installazione nottetempo di quelle appartenenti all'ultima categoria. Le interruzioni i cui effetti sono modesti invece, sono effettuabili di giorno con riserva: si dovranno mettere in atto degli accorgimenti tecnici per tentare di limitare il loro impatto negativo. Alcune di queste ipotesi saranno illustrate nel prossimo paragrafo.

L'originalità della tesi risiede nel fatto che l'elaborato è stato a tutti gli effetti un lavoro campione per *FerrovieNord S.p.A.* che proprio in questi mesi sta studiando l'argomento delle interruzioni parziali di binario diurne per lavori di manutenzione. L'azienda, attraverso dei test, sta cercando di capire in che misura può fare affidamento sul software di simulazione *OpenTrack* e la tesi ne rappresenta una prova. Il lavoro non solo esplora una procedura di pianificazione delle interruzioni ma da anche dimostrazione del fatto che è possibile simulare in modo preciso gli effetti delle singole installazioni dei cantieri potendo raggiungere lo stesso obiettivo in minor tempo, con meno energie ma sicuramente in modo più preciso.

La tesi è un'ulteriore elemento che prova la possibilità di perseguire un percorso nuovo e più agevole per la pianificazione delle interruzioni programmate e questo ne rappresenta un'assoluta innovazione; inoltre il lavoro illustra una procedura che è replicabile per qualsiasi linea a doppio binario e non solo per la Saronno – Malpensa Aeroporto. Pertanto i risultati e soprattutto il procedimento può essere utilizzato dall'azienda stessa per le altre linee che ricadono sotto la sua gestione ma anche da altre aziende ferroviarie che presentano le stesse necessità.

8.2. Sintesi finale, considerazioni aggiuntive e ipotesi ulteriori

La necessità di dover pianificare la manutenzione per la tratta Saronno – Malpensa Aeroporto, unitamente alla logica di contenimento dei costi, ha spinto *FerrovieNord* a valutare la possibilità di poter effettuare le lavorazioni durante l'orario diurno.

Infatti, come già ampiamente argomentato, i costi dei lavori di manutenzione effettuati in orario notturno generalmente sono maggiori rispetto a quelli in orario diurno; pertanto è stato necessario stimare gli effetti delle interruzioni generate dalle lavorazioni per consentire di decidere se fosse meglio interrompere parzialmente la circolazione e permettere i lavori durante il giorno sopportando disagi che restassero nei limiti dell'accettabilità oppure se fosse preferibile prediligere la fascia notturna.

La fascia oraria scelta come ipotesi per le lavorazioni diurne è quella compresa fra le 10:00 e le 16:00 poiché questo spazio temporale non si sovrappone agli orari di punta tipici del pendolarismo che caratterizzano le ore del primo mattino e del tardo pomeriggio e consente al tempo stesso di massimizzare le ore dedicate alle lavorazioni.

Si sono ipotizzate interruzioni di linea delimitate dai segnali di protezione dei singoli impianti e ne sono state individuate in numero di dodici. Per ogni interruzione, si sono analizzate le ripercussioni che le interruzioni hanno sulla circolazione al fine di poter mettere al corrente il gestore dell'infrastruttura in merito alle conseguenze dirette di ogni singola scelta. Ci si è avvalsi di un software di simulazione ferroviaria chiamato *OpenTrack* che consente la riproduzione virtuale dell'infrastruttura e, unitamente alle tipologie di convogli circolanti e all'orario di servizio associato, ha permesso la simulazione della circolazione e l'individuazione delle eventuali interferenze fra corse.

Prima di poter affermare che *OpenTrack* riproducesse scenari assimilabili a quelli reali è stato necessario effettuare la calibrazione del modello. Per diverse performance, sono stati imposti come dati di input i valori di ritardo medi reali per ciascuna corsa in partenza dai singoli impianti di ingresso nella tratta Saronno – Malpensa Aeroporto; in qualità di dati di output invece, sono stati confrontati i ritardi in arrivo simulati con i ritardi medi reali delle corse in arrivo agli impianti di uscita dalla tratta Saronno – Malpensa Aeroporto. È stato scelto lo scenario che utilizza la performance del 90% perché giudicato essere quello che consente di mantenersi maggiormente a favore di sicurezza.

Successivamente, utilizzando il programma *OpenTrack* e una performance del 90%, a seconda della situazione generata dalla singola interruzione, studiando l'orario grafico e l'infrastruttura, sono state riprodotte le singole interruzioni regolando la circolazione sul binario adiacente le lavorazioni stesse: si rendono necessarie pertanto operazioni di incrocio fra le corse circolanti in senso opposto cercando di minimizzare o comunque ripartire i ritardi dovuti alle singole interruzioni. Per ogni singolo scenario simulato sono stati valutati:

3 ottobre 2013

- Una suddivisione in termini percentuali dei treni in arrivo nell'impianto in esame in base alla fascia di ritardo.
- Un confronto fra gli andamenti, durante l'arco della giornata, dell'*indice di puntualità ai cinque minuti calcolato su base oraria riferito ad una sola direttrice* (IP5' h) e la rappresentazione del numero di treni che giungono nell'impianto in esame con un ritardo inferiore a 5'
- Un confronto fra gli *indici di puntualità ai cinque minuti calcolati su base giornaliera riferiti ad una sola direttrice* (IP5').
- Un confronto fra gli *indici di puntualità ai cinque minuti calcolati su base giornaliera riferiti all'intera rete* (IP5).

Le prime conclusioni risultano ovvie dal punto di vista generale, ma grazie all'utilizzo del software si è riuscito a quantificare l'entità degli effetti in maniera dettagliata:

- Più l'interruzione risulta estesa più gli effetti negativi sulla circolazione ferroviaria risulteranno importanti.
- Maggiore è l'estensione del tratto a semplice binario maggiori sono gli effetti negativi sulla circolazione ferroviaria.
- Minore è la lunghezza del tratto interrotto, minori sono gli effetti legati alla riduzione di velocità del binario attiguo.
- Il ritardo legato all'attesa negli impianti estremi al tratto interrotto, maturato durante le operazioni di incrocio, è tanto più recuperabile quanto più aumenta la distanza del tratto interrotto dall'impianto di fine corsa. Infatti la traccia oraria è redatta considerando un allungamento complessivo del 7% e consente quindi un recupero parziale del ritardo.
- Nelle ore centrali della giornata, si assiste in alcune situazioni ad un miglioramento della puntualità dato il minor numero di corse circolanti e quindi un minor numero di interferenze.

Grazie ai risultati emersi si è potuto effettuare diverse ipotesi aggiuntive che si riportano qui di seguito:

La limitazione di velocità sul binario attiguo, ipotizzata a 60 km/h per tutta la lunghezza dell'interruzione, può essere modificata e ipotizzata per una velocità diversa ed un'estensione diversa. Se si fosse a conoscenza delle lavorazioni che vengono effettuate si sarebbe in grado di definire con maggior precisione la limitazione di velocità e la sua estensione ottenendo una visione complessiva degli effetti delle interruzioni più dettagliata.

Nello studio in oggetto non si sono valutate le combinazioni di effetti dati dalla presenza di due o più interruzioni nella tratta interessata. E' da sottolineare che l'effetto dell'unione di due o più interruzioni non corrisponde alla somma degli effetti delle singole interruzioni. Quello che ci si aspetta in base all'esperienza nell'esercizio ferroviario è che l'unione di due interruzioni dia un effetto peggiore rispetto alla somma degli effetti delle singole interruzioni; tuttavia questo è da provare perché potrebbe

verificarsi che organizzando opportunamente i due o più cantieri in esame sia possibile fare in modo che gli effetti complessivi siano minori della somma dei singoli effetti.

Generalmente, per limitare il disagio derivante dalle interruzioni nei confronti dei passeggeri in funzione della domanda di trasporto, si procede agevolando i treni con numerazione pari al mattino e con numerazione dispari il pomeriggio; questo non determina un miglioramento della puntualità ma solo una redistribuzione del ritardo, penalizzando così le corse con un minor numero di passeggeri a bordo. Tuttavia, non sempre è possibile l'agevolazione delle corse secondo il criterio sopracitato: la struttura di orario rende preferibile agevolare diversamente le corse nel tentativo di minimizzare il ritardo complessivo.

Per cercare invece di non incidere troppo sull'indice di puntualità si potrebbe pensare di ridefinire un nuovo intervallo dedicato alle lavorazioni diurne. La scelta della fascia oraria 10:00 – 16:00 è dettata dalla volontà di utilizzare a pieno la fascia di morbida compresa fra le punte del mattino e del pomeriggio: così si dispone di un intervallo temporale ampio da dedicare alle lavorazioni. Poiché alcuni "effetti di coda" dell'ora di punta del mattino si protraggono oltre le 10:00, si potrebbe ipotizzare di escludere l'ora compresa tra le 10:00 e le 11:00 evitando così le perturbazioni derivanti dall'ora di punta, nel tentativo di migliorare la regolarità della circolazione legata all'intervallo di interruzione. Questo scenario non è stato sviluppato perché si è voluta considerare la situazione più critica.

Nell'interruzione numero 6, che prevede l'interruzione del binario pari fra Castellanza e Busto Arsizio, si è resa necessaria la sospensione del servizio S30 per l'intera durata dell'interruzione e questo ha ovviamente portato benefici alla circolazione in quanto il minor numero di treni comporta un minor numero di interferenze. Questa osservazione apre la possibilità di valutare soppressioni mirate anche di altri servizi nel tentativo di ridurre le interferenze e di aumentare la puntualità.

Come già sintetizzato precedentemente, durante l'apprendimento dell'uso di *OpenTrack* sono state effettuate numerose prove campione le quali hanno evidenziato degli aspetti positivi e negativi del programma che è utile riportare in modo più esteso.

In generale il software rappresenta un buon programma di simulazione, capace di rappresentare al dettaglio qualsiasi situazione legata alla circolazione ferroviaria con un ottimo livello di precisione qualificandosi come un affidabile supporto decisionale; infatti il programma riproduce la circolazione in modo molto fedele riuscendo a riprodurre la maggior parte delle situazioni che possono essere osservate nella realtà. Del resto, la validazione del modello effettuata nel capitolo 5 è la conferma di quanto affermato precedentemente.

Il livello di dettaglio nella simulazione rappresenta certamente un punto di forza del programma il quale però non deve essere utilizzato a scatola chiusa. In alcune delicate operazioni di circolazione quali per esempio quelle di incrocio, il programma decide di organizzare i transiti optando per la scelta che ritiene essere ottima che però potrebbe non coincidere con le intenzioni del dirigente movimento.

3 ottobre 2013

Le scelte effettuate sulla base di anni di servizio a volte non rispondono alla logica di minimizzazione dei ritardi ma a logiche di esercizio diverse: si potrebbe gestire il traffico ferroviario in modo tale da mantenere dei binari liberi all'interno di un impianto o avvantaggiare corse nella consapevolezza di migliorare la circolazione a lungo raggio ma anche ricevere in una stazione un treno prima di un altro per necessità tecniche di impianto. In generale, gli effetti positivi e negativi di ogni scelta operata sulla circolazione si possono ripercuotere in cascata: tali scelte presuppongono una conoscenza della circolazione approfondita e una visione d'insieme che il software non riesce ad avere limitandosi a risolvere la circolazione in modo sistematico, interferenza dopo interferenza. Appare pertanto evidente il limite del programma il cui funzionamento deve ancora essere subordinato al controllo dell'uomo.

9. Bibliografia

- [1] AGOSTINACCHIO M., CIAMPA D., OLITA S. - *Strade Ferrovie e Aeroporti* – EPC Libri.
- [2] HUERLIMANN D., NASH A.B. – *OpenTrack – Simulation of Railway Networks* – User Manual – ETH, Zurich, 2007.
- [3] FERROVIENORD – *Regolamento per la circolazione dei treni* – 1984, Ristampa 2000 (O.S. 06/2012)
- [4] FERROVIENORD – *Prefazione all'orario di servizio* – 1976, Ristampa 2000 (O.S. 24/2013)
- [5] FERROVIENORD – *Regolamento segnali* – 1981, Ristampa 2012 - (O.S. 07/2012)
- [6] FERROVIENORD – *Orario di servizio – 2012* (C.d.E. 08/2012)
- [7] FERROVIENORD – *Istruzioni per l'esercizio degli apparati centrali (Libro III) – Apparato centrale elettrico a pulsanti di itinerario.*
- [8] FERROVIENORD – *Disposizioni per l'esercizio in telecomando* – 2008, Ristampa 2012 (O.S. 08/2012)
- [9] MAJA R. – dispense di *Circolazione Ferroviaria* (ottobre 2011)
- [10] DE PALATIS P. - *Regolamenti e sicurezza della circolazione ferroviaria*
- [11] FINZI, GERINI - *Blocco automatico a correnti codificate* - T. Westinghouse
- [12] R.F.I. Rete Ferroviaria Italiana – *Fascicolo Linea (Milano)* – Edizione dicembre 2003 (C.T. 16/2011)
- [13] CESARI F., RIZZO V., LUCCHETTI L. - *Elementi generali dell'esercizio ferroviario.*
- [14] FERROVIENORD – *Istruzioni per l'esercizio con sistema di blocco elettrico automatico* - 2012 (O.S. 10/2012).
- [15] FERROVIENORD – *Istruzioni per l'esercizio con sistema di blocco elettrico conta-assi* - 2012 (O.S. 11/2012).
- [16] ANTOGNOLI M., CORAZZA G.R., GUIDA P. – *Analisi di un impianto di stazione, mediante osservazioni in condizioni reali di esercizio* – Ingegneria Ferroviaria 2001.
- [17] BIANCHI M., CESARI F. – *Aspetti organizzativi e tecnici dell'esercizio ferroviario* – CAFI, 1991.
- [18] CHIUSOLO S. – *Costruzione e validazione di un modello di simulazione dell'esercizio di una linea di metropolitana* – Tesi di Laurea Triennale in Ingegneria Gestionale, Università degli Studi di Roma “La Sapienza”, Roma, 2010.
- [19] GIULIANI L., MALAVASI G., RICCI S. – *Analisi di un impianto di stazione sulla base del programma di esercizio* – Ingegneria Ferroviaria, 1989.
- [20] GUIDA P.L., MILIZIA E. – *Dizionario Ferroviario* – CIFI, Roma, 2000.
- [21] LIVERANI A. – *La regolazione del traffico* – Ingegneria Ferroviaria, 1980.
- [22] MALAVASI G., MARINI C., PETRILLI G. – *Interruzione di esercizio per avaria. Valutazione mediante simulazione* – Ingegneria Ferroviaria, aprile 1992.
- [23] ORLANDI A. – *Tecnica della circolazione* – Pitagora Editrice, Bologna, 1987.

10. Webgrafia

Siti internet maggiormente consultati:

- <http://www.OpenTrack.ch/>
- www.era.europa.eu
- www.ansf.it
- www.mit.gov.it
- www.rfi.it
- www.ffs.ch
- www.ferrovienord.it
- www.cifi.it
- www.trenitalia.it

11. Allegati

Allegato 1: Grafici di scenario di simulazione al 90% di performance

Impianto di Saronno: corse in arrivo con numerazione pari

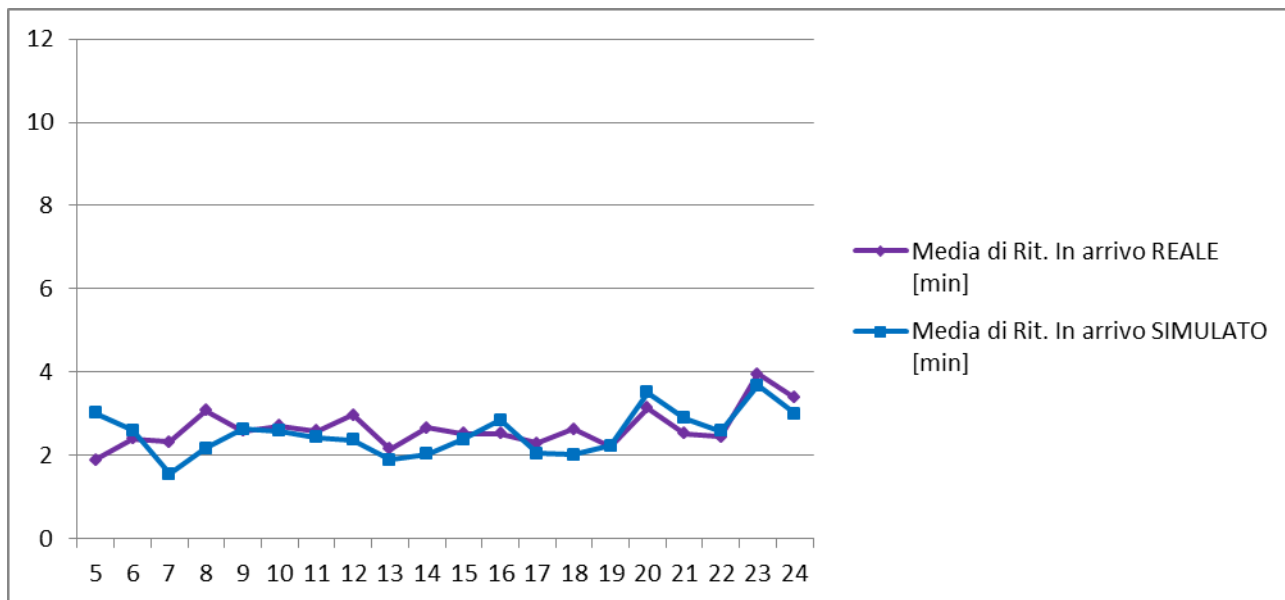


Grafico 11-1: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra l'andamento della media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati nell'impianto di Saronno per le corse aventi numerazione pari.

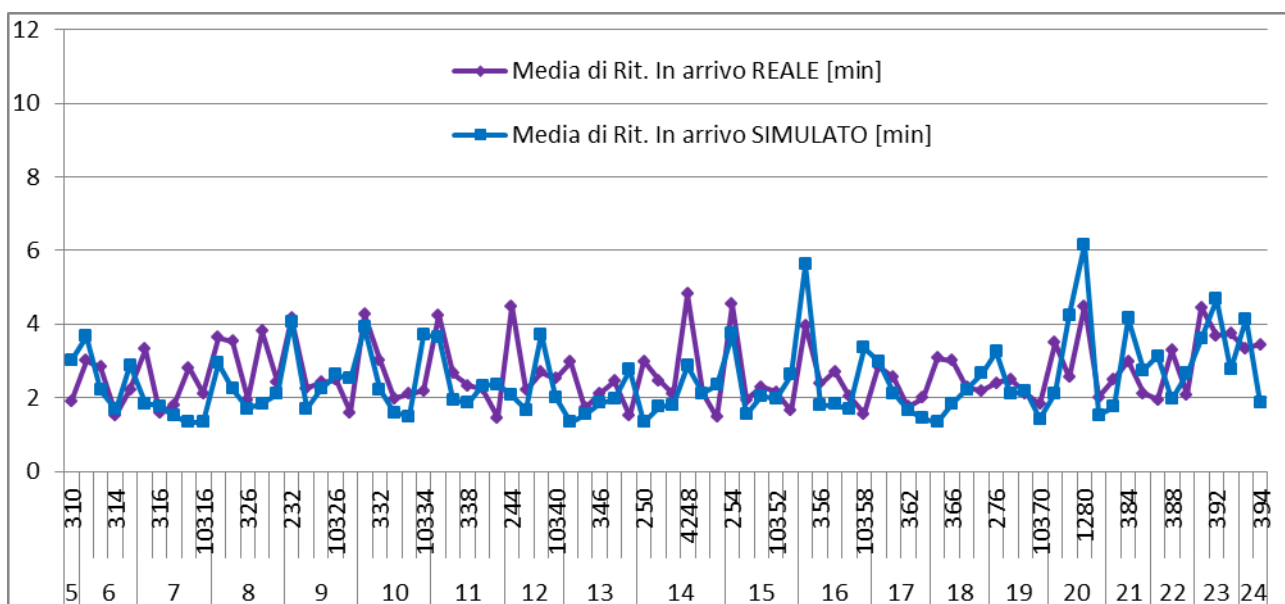


Grafico 11-2: Confronto per treno, lungo l'arco della giornata tra l'andamento della media dei ritardi in arrivo reali e il ritardo in arrivo simulato nell'impianto di Saronno per le corse aventi numerazione pari.

Impianto di Malpensa Aeroporto: corse in arrivo con numerazione dispari

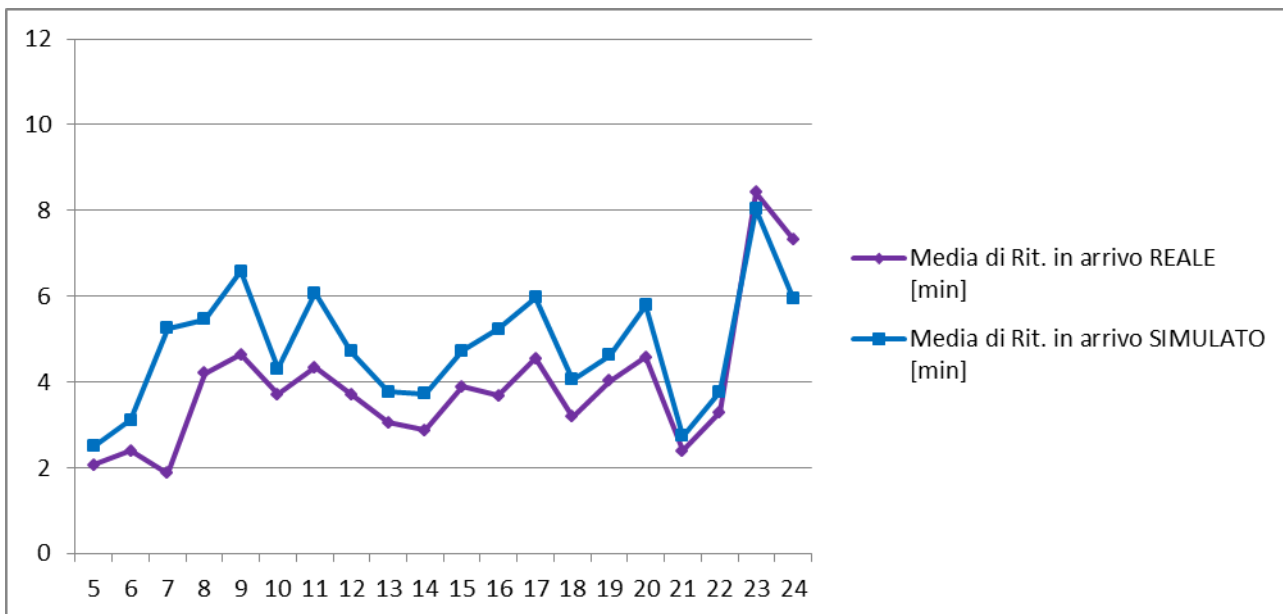


Grafico 11-3: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati nell'impianto di Malpensa Aeroporto per le corse aventi numerazione dispari.

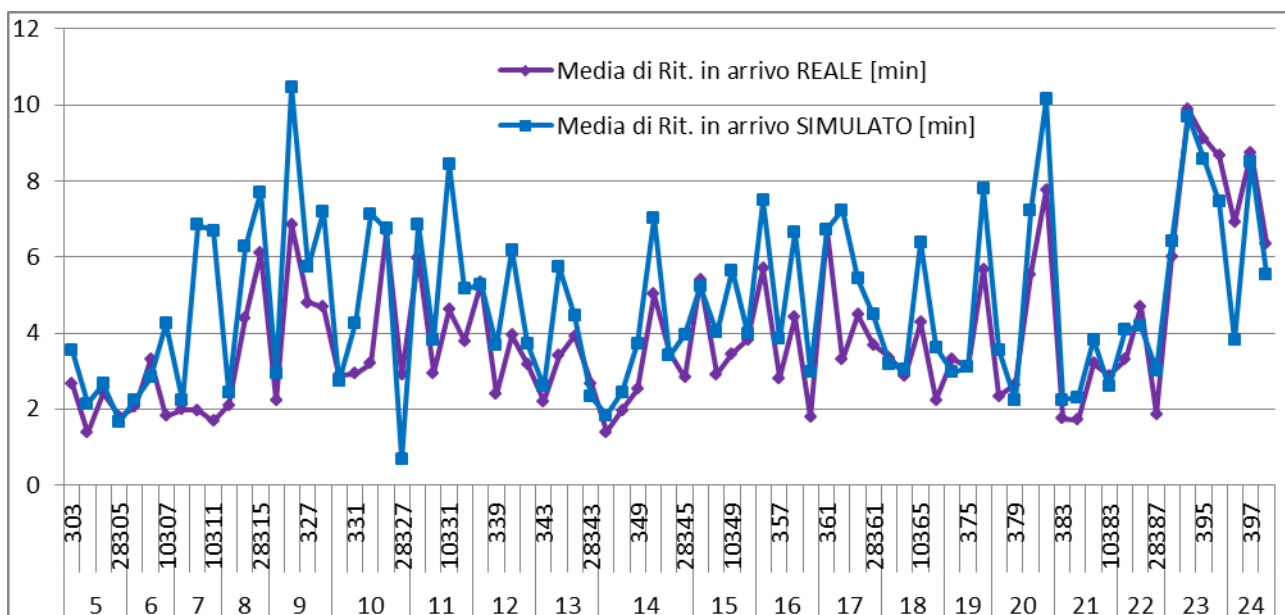


Grafico 11-4: Confronto per treno, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e il ritardo in arrivo simulato nell'impianto di Malpensa Aeroporto per le corse aventi numerazione dispari.

Impianto di Vanzaghello Magnago: corse in arrivo con numerazione dispari

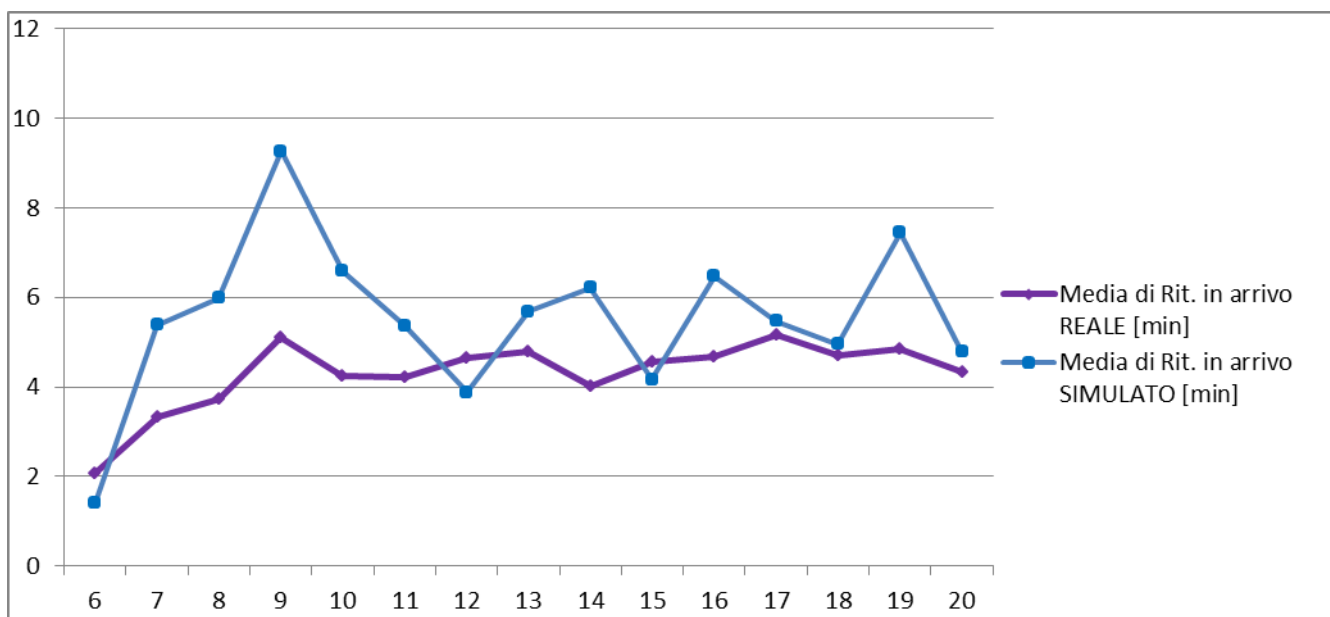


Grafico 11-5: Confronto per fascia oraria lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati nell'impianto di Vanzaghello Magnago per le corse aventi numerazione dispari.

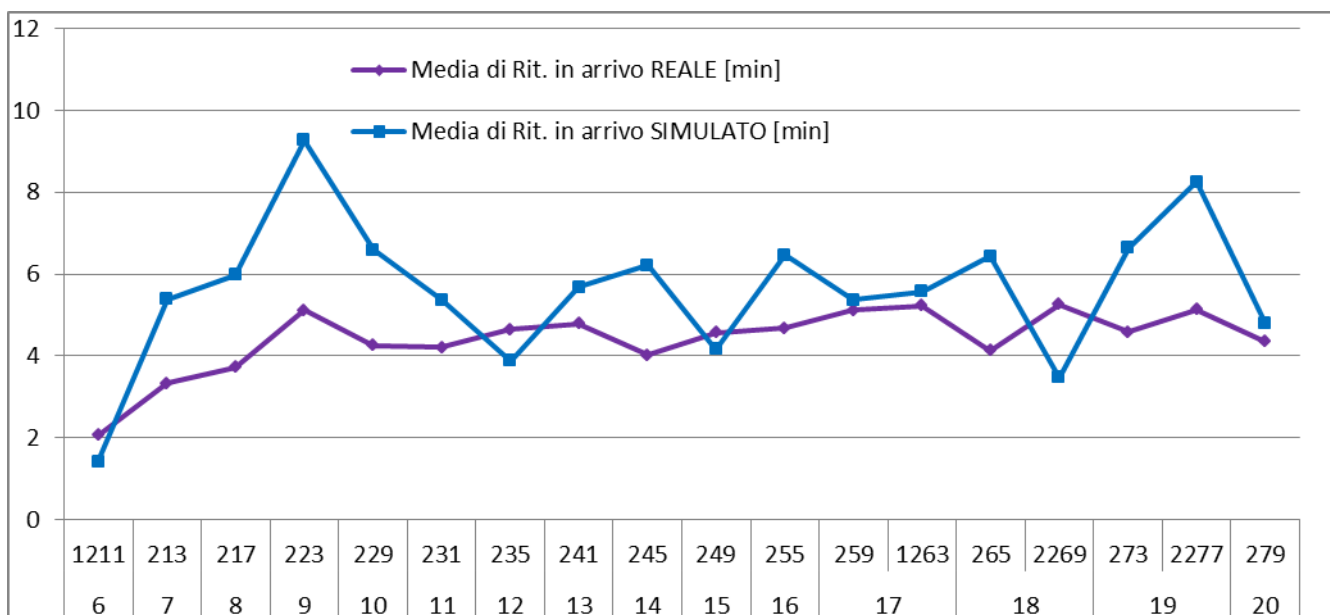


Grafico 11-6: Confronto per treno, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e il ritardo in arrivo simulato nell'impianto di Vanzaghello Magnago per le corse aventi numerazione dispari.

Impianto di Busto Arsizio FN: corse in arrivo con numerazione pari

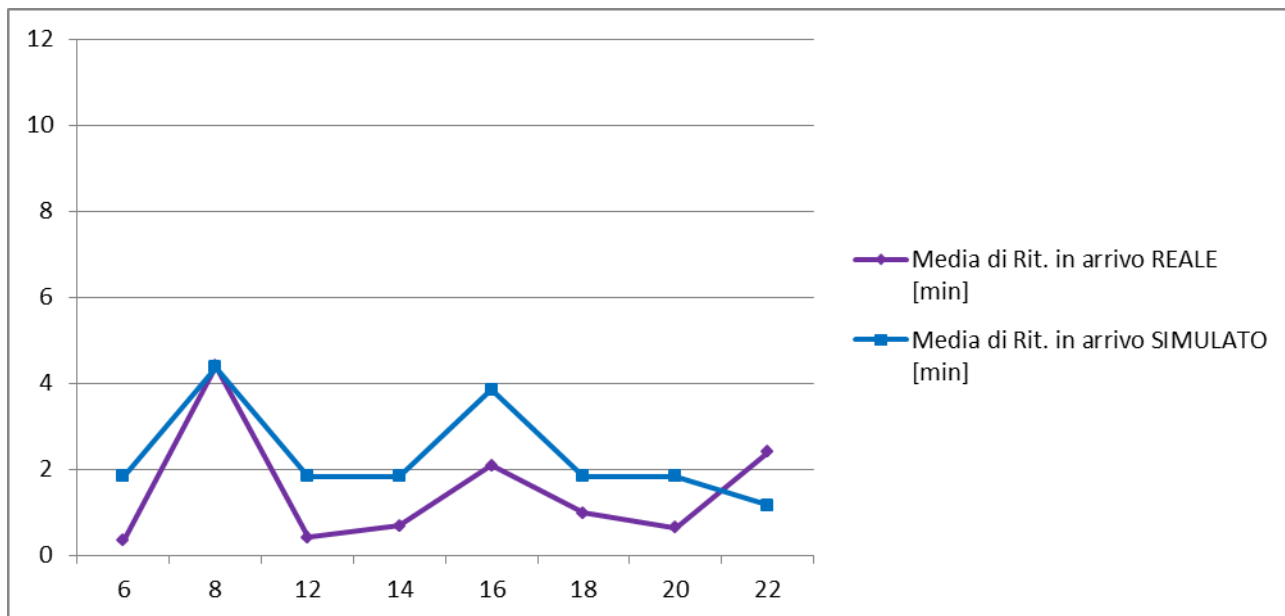


Grafico 11-7: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati nell'impianto di Busto Arsizio FN per le corse aventi numerazione pari.

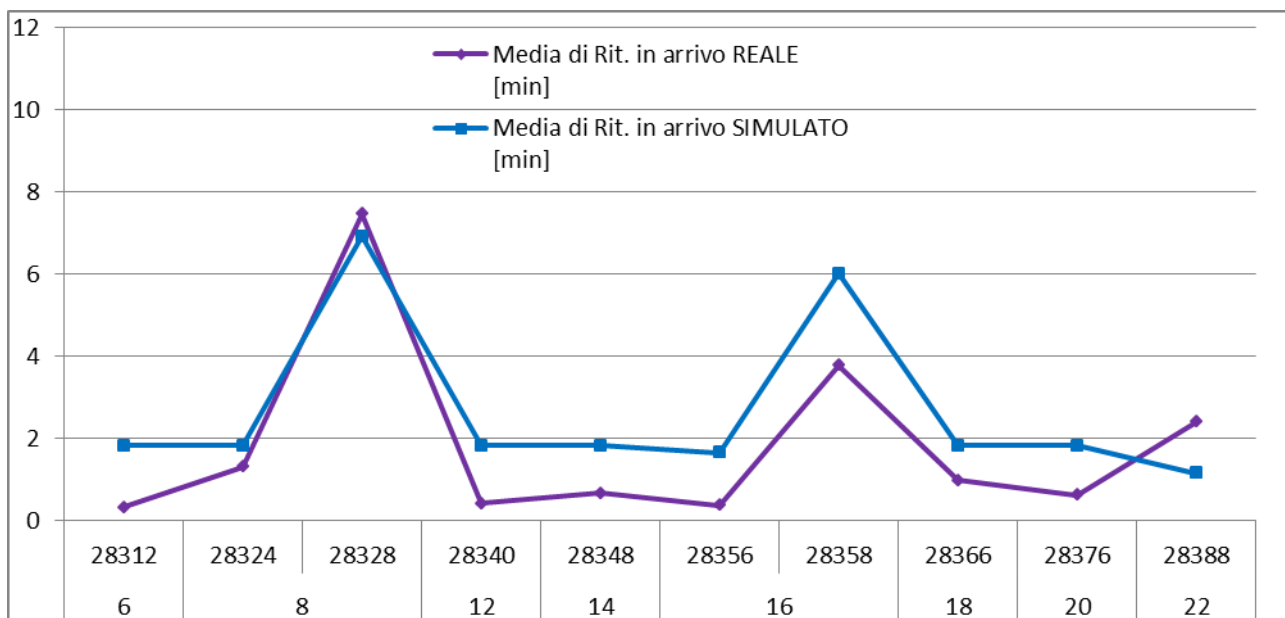


Grafico 11-8: Confronto per treno, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e il ritardo in arrivo simulato nell'impianto di Busto Arsizio FN per le corse aventi numerazione pari.

Allegato 2: Grafici di scenario di simulazione al 93% di performance

Impianto di Saronno: corse in arrivo con numerazione pari

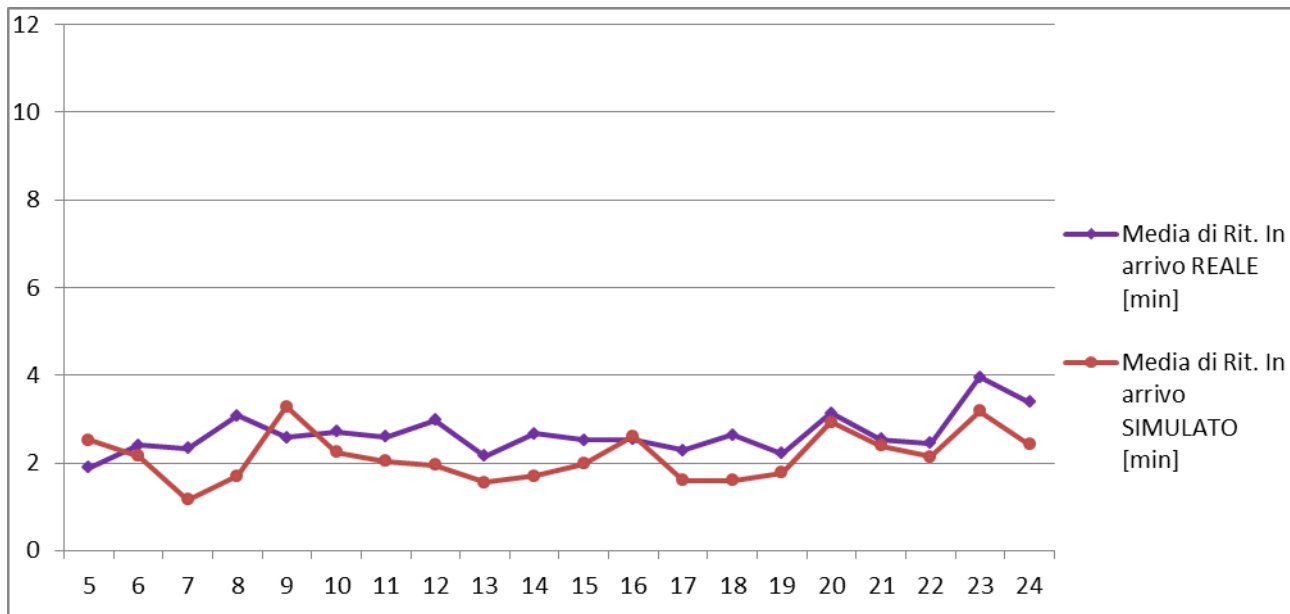


Grafico 11-9: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra l'andamento della media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati nell'impianto di Saronno per le corse aventi numerazione pari.

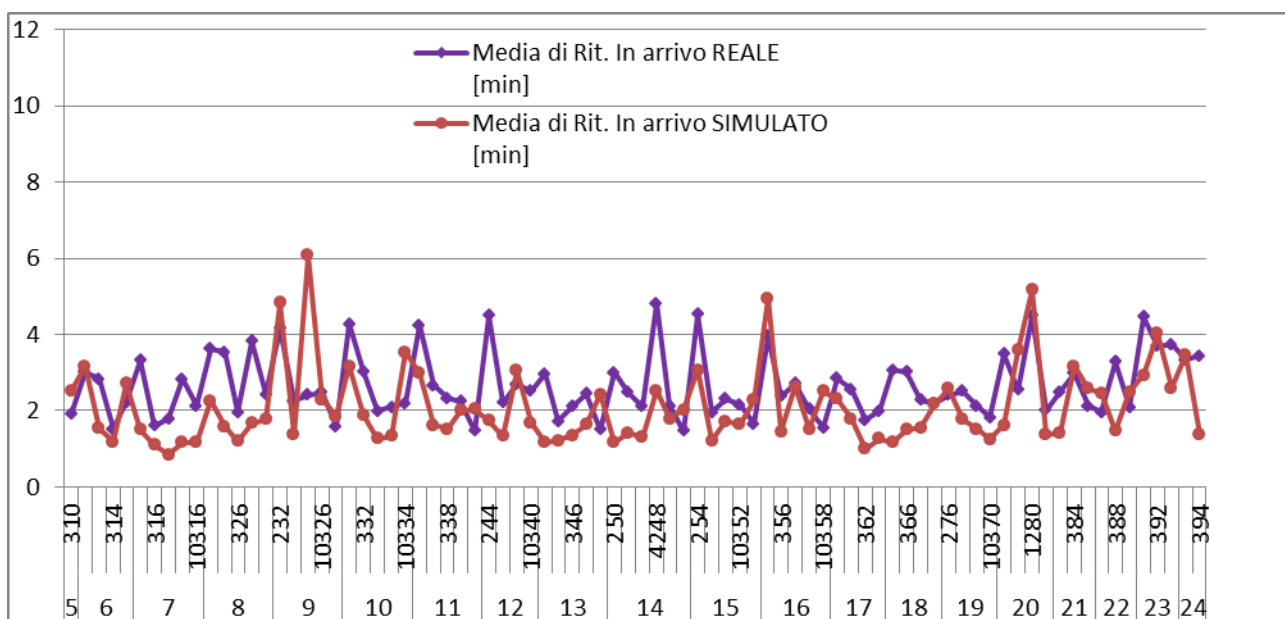


Grafico 11-10: Confronto per treno, lungo l'arco della giornata tra l'andamento della media dei ritardi in arrivo reali e il ritardo in arrivo simulato nell'impianto di Saronno per le corse aventi numerazione pari.

Impianto di Malpensa Aeroporto: corse in arrivo con numerazione dispari

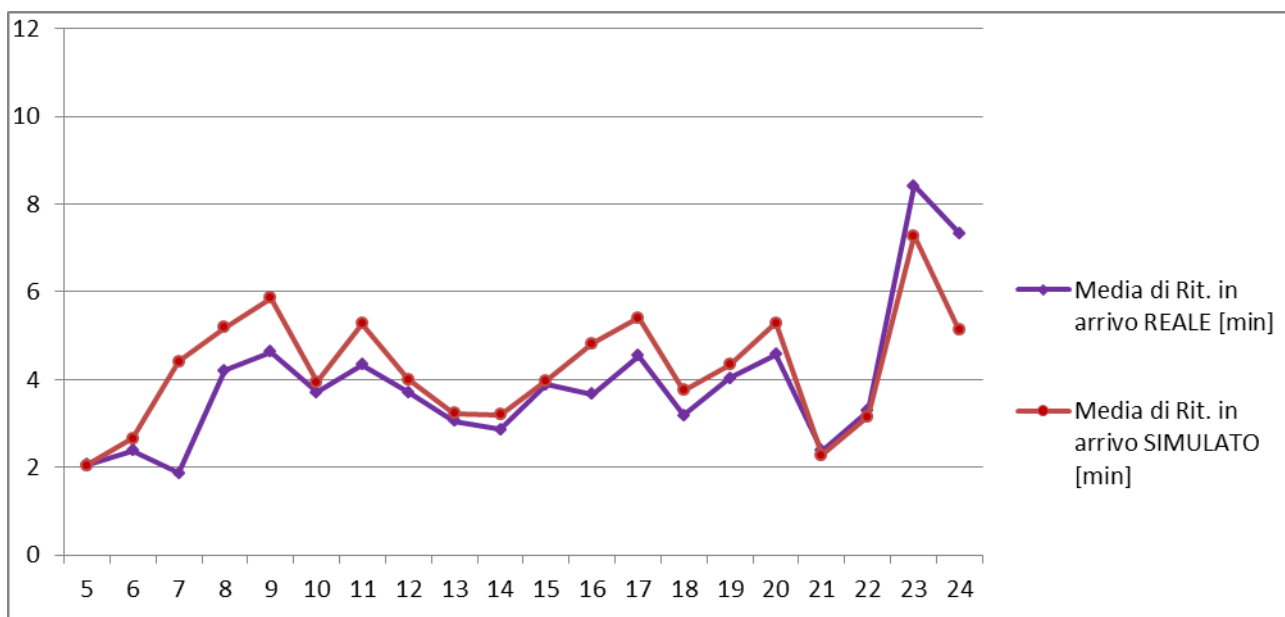


Grafico 11-11: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati nell'impianto di Malpensa Aeroporto per le corse aventi numerazione dispari.

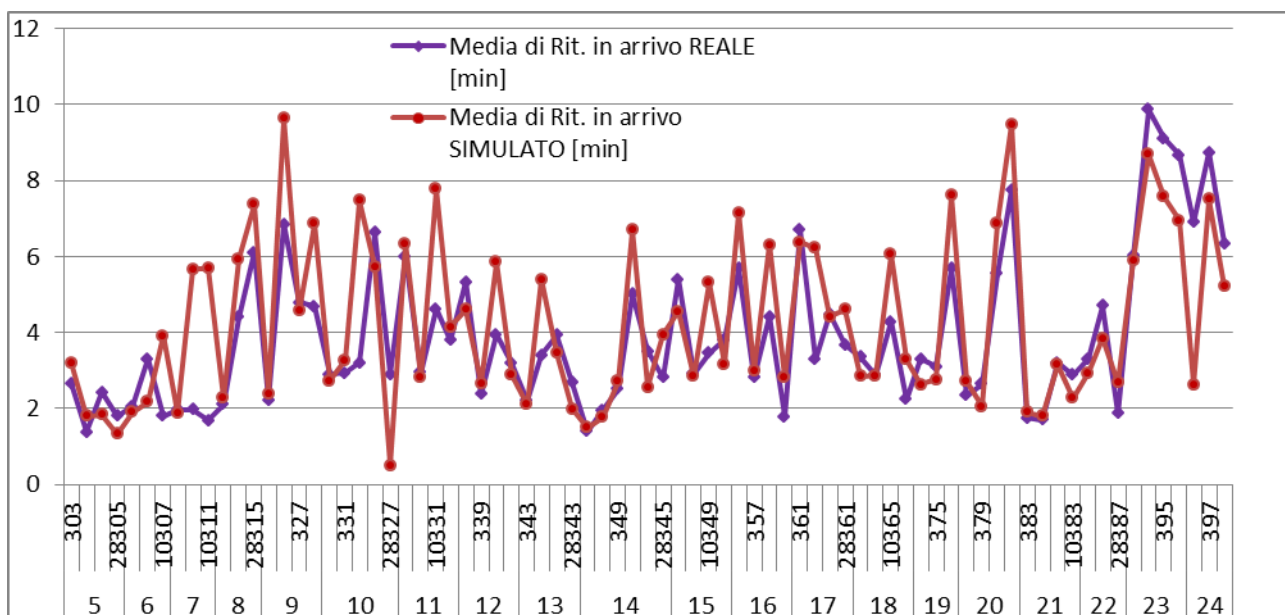


Grafico 11-12: Confronto per treno, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e il ritardo in arrivo simulato nell'impianto di Malpensa Aeroporto per le corse aventi numerazione dispari.

Impianto di Vanzaghello Magnago: corse in arrivo con numerazione dispari

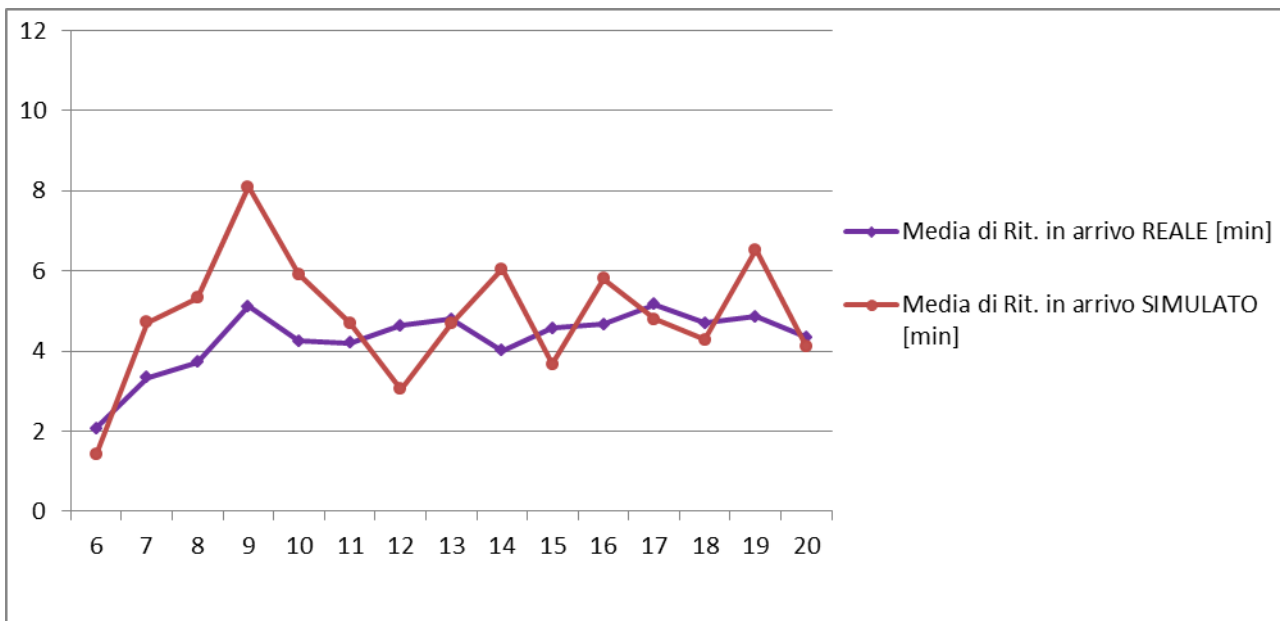


Grafico 11-13: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati nell'impianto di Vanzaghello Magnago per le corse aventi numerazione dispari.

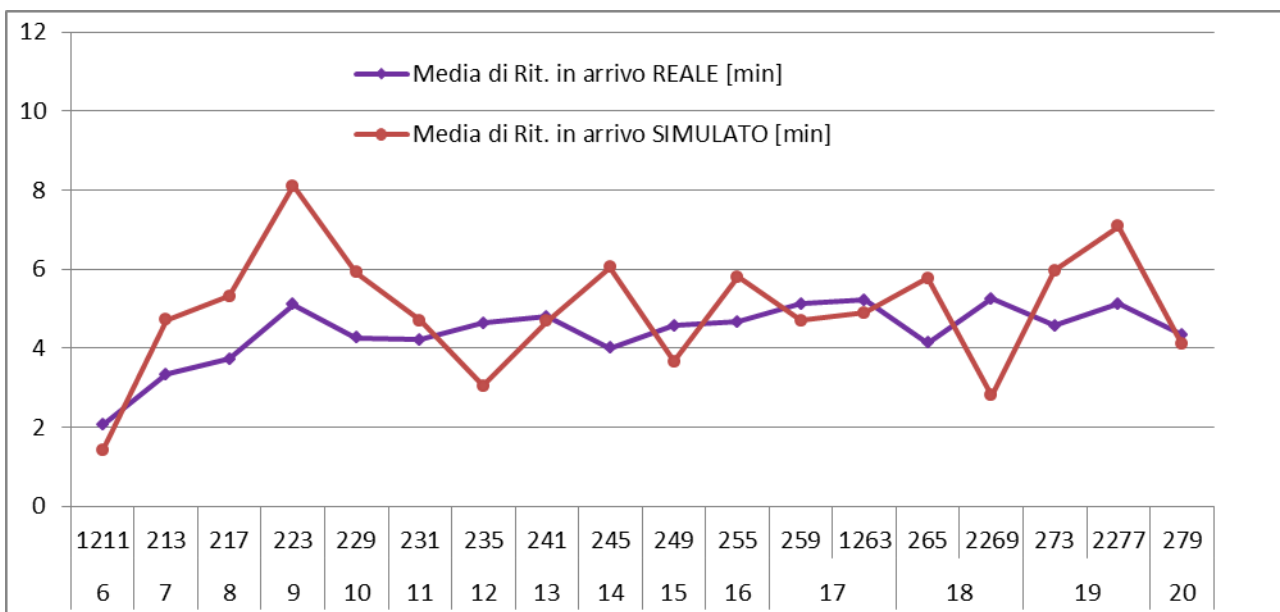


Grafico 11-14: Confronto per treno, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e il ritardo in arrivo simulato nell'impianto di Vanzaghello Magnago per le corse aventi numerazione dispari.

Impianto di Busto Arsizio FN: corse in arrivo con numerazione pari

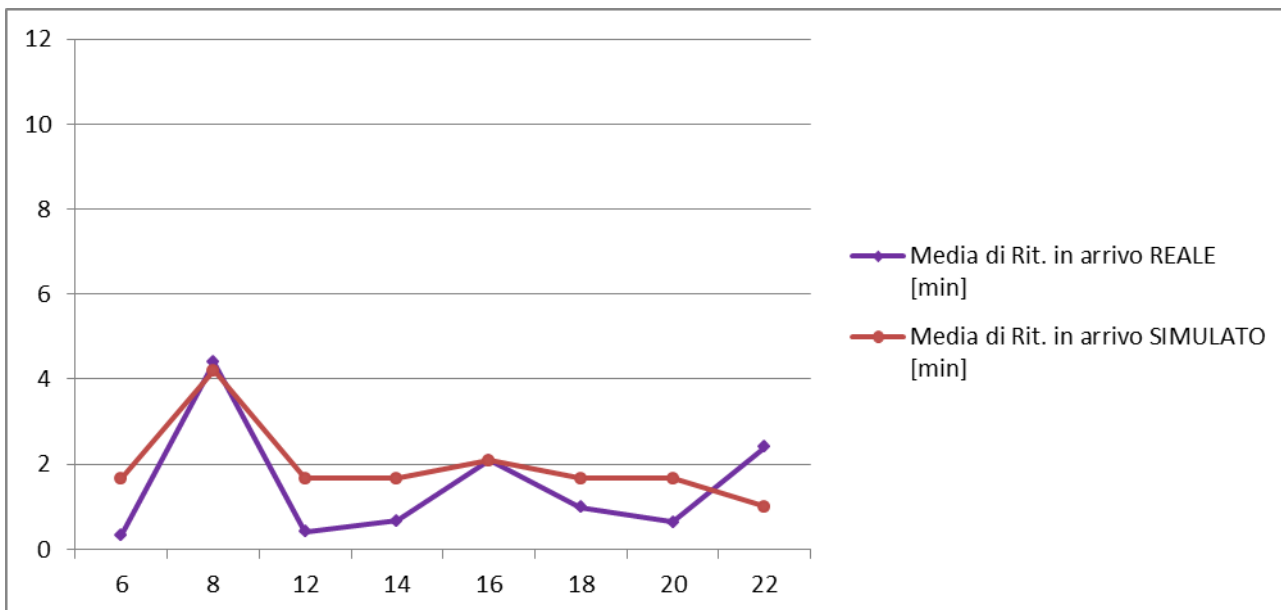


Grafico 11-15: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati nell'impianto di Busto Arsizio FN per le corse aventi numerazione pari.

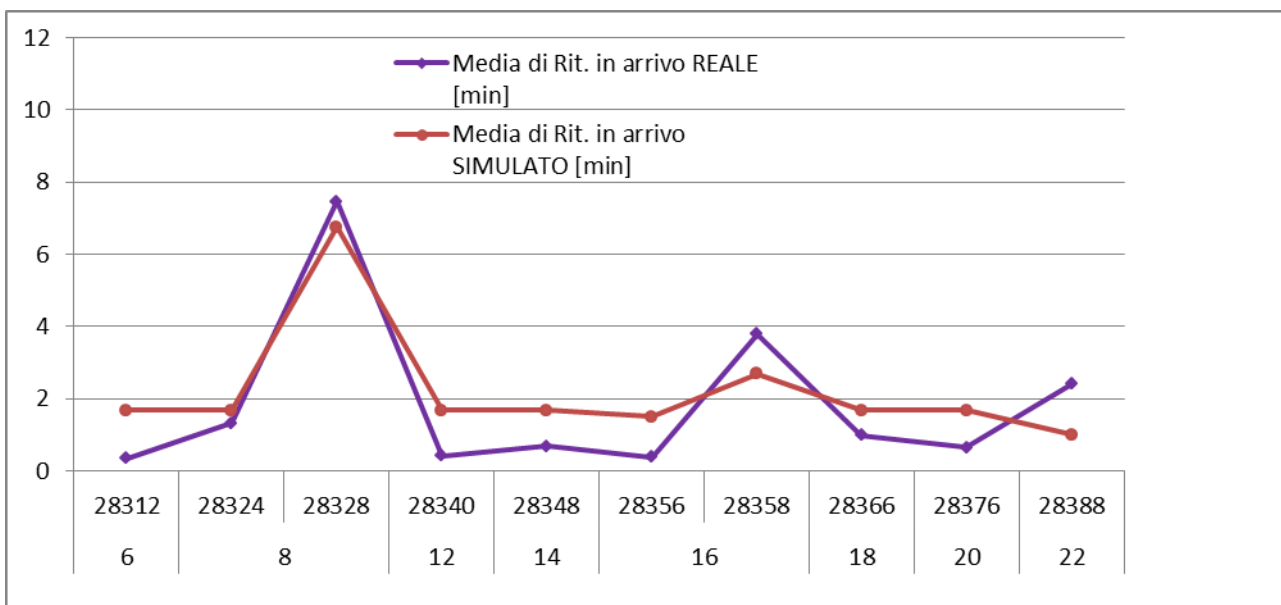


Grafico 11-16: Confronto per treno, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e il ritardo in arrivo simulato nell'impianto di Busto Arsizio FN per le corse aventi numerazione pari.

Allegato 3: Grafici di scenario di simulazione al 95% di performance

Impianto di Saronno: corse in arrivo con numerazione pari

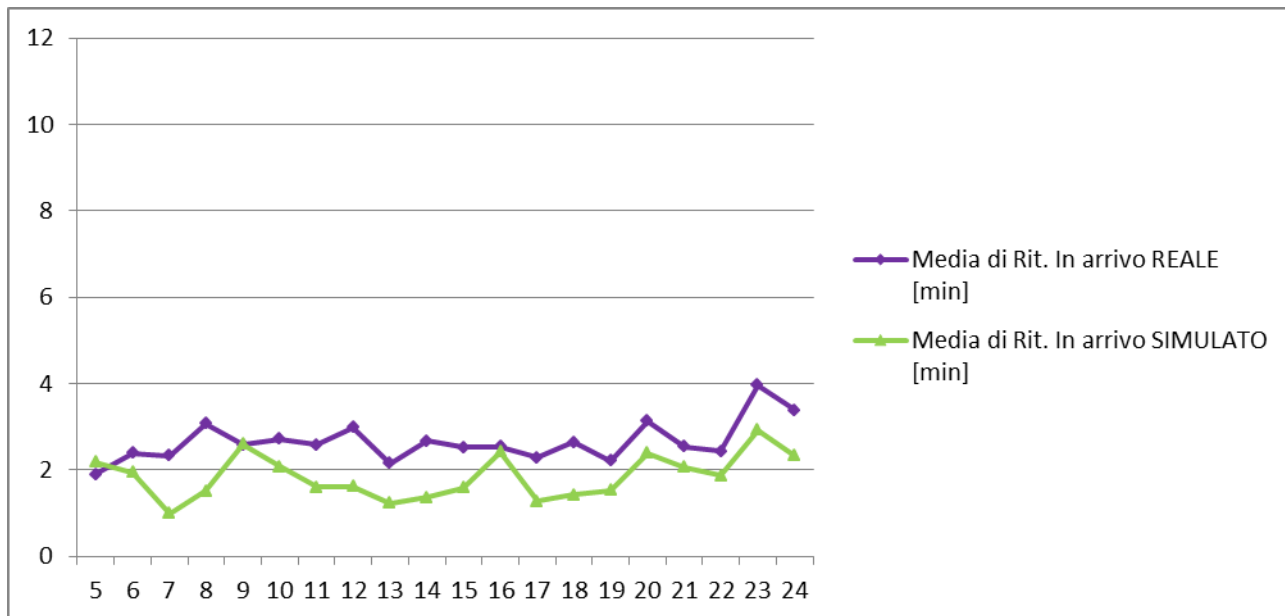


Grafico 11-17: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra l'andamento della media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati nell'impianto di Saronno per le corse aventi numerazione pari.

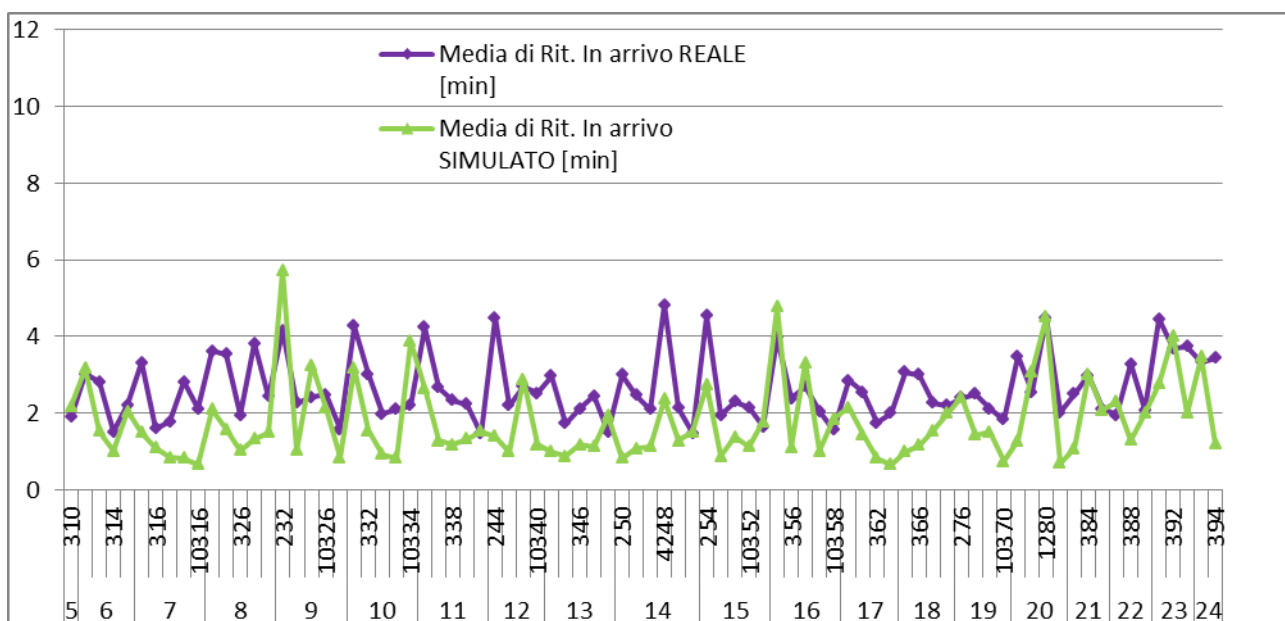


Grafico 11-18: Confronto per treno, lungo l'arco della giornata tra l'andamento della media dei ritardi in arrivo reali e il ritardo in arrivo simulato nell'impianto di Saronno per le corse aventi numerazione pari.

Impianto di Malpensa Aeroporto: corse in arrivo con numerazione dispari

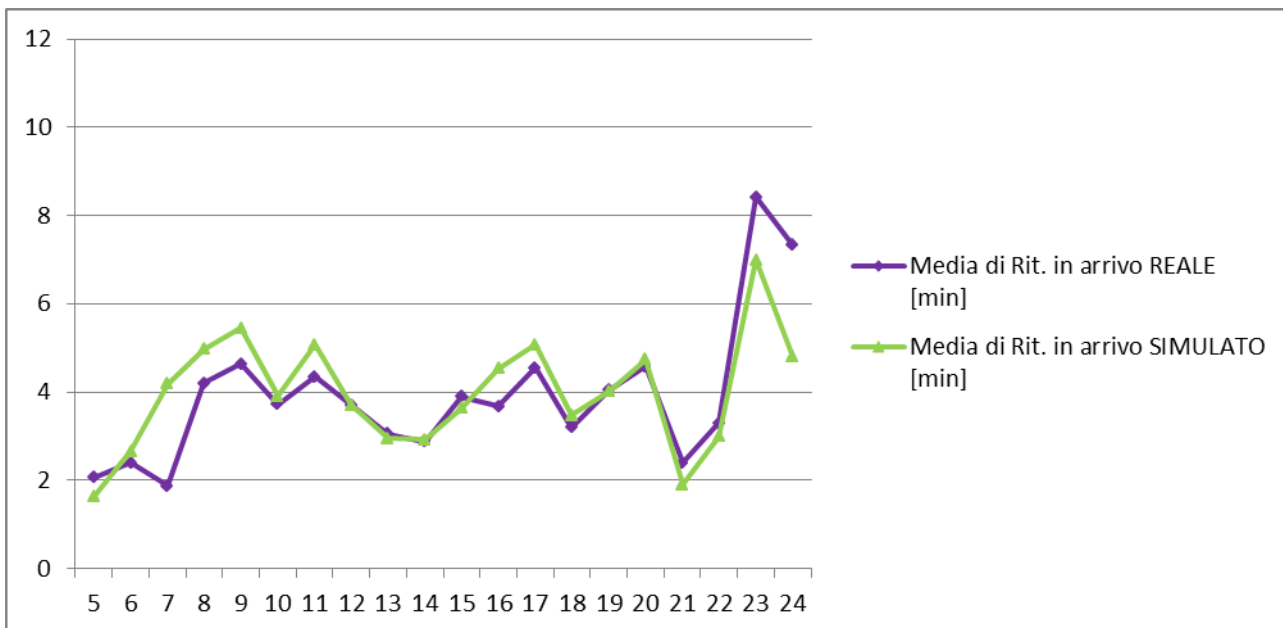


Grafico 11-19: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati nell'impianto di Malpensa Aeroporto per le corse aventi numerazione dispari.

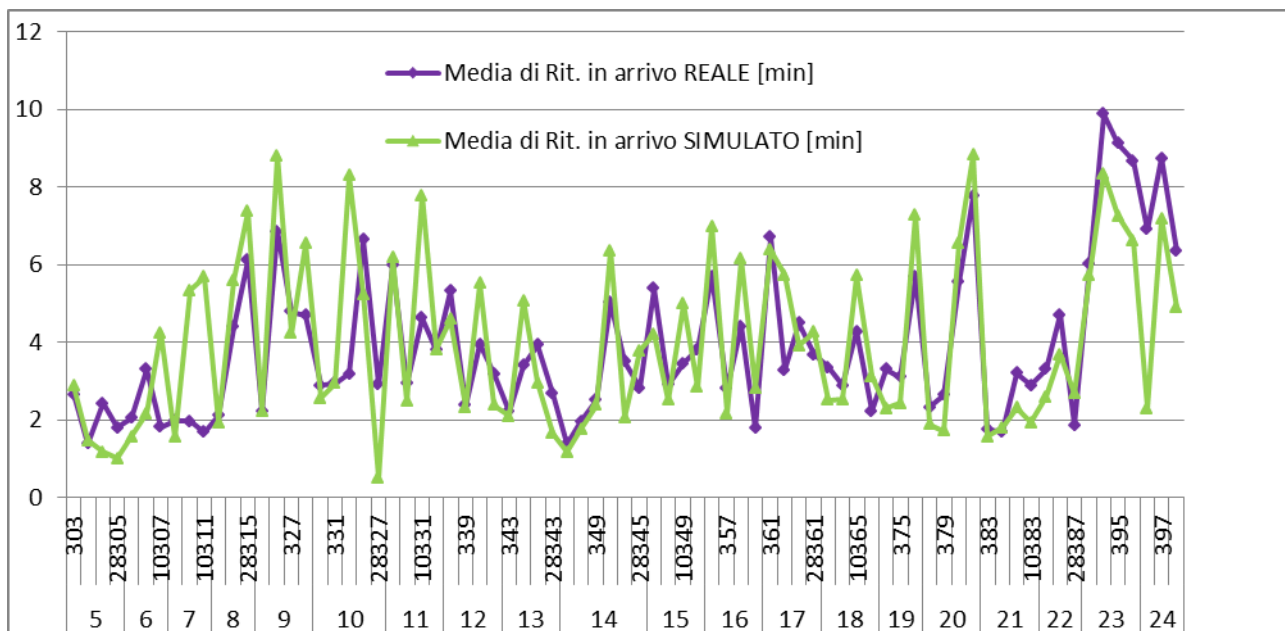


Grafico 11-20: Confronto per treno, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e il ritardo in arrivo simulato nell'impianto di Malpensa Aeroporto per le corse aventi numerazione dispari.

Impianto di Vanzaghello Magnago: corse in arrivo con numerazione dispari

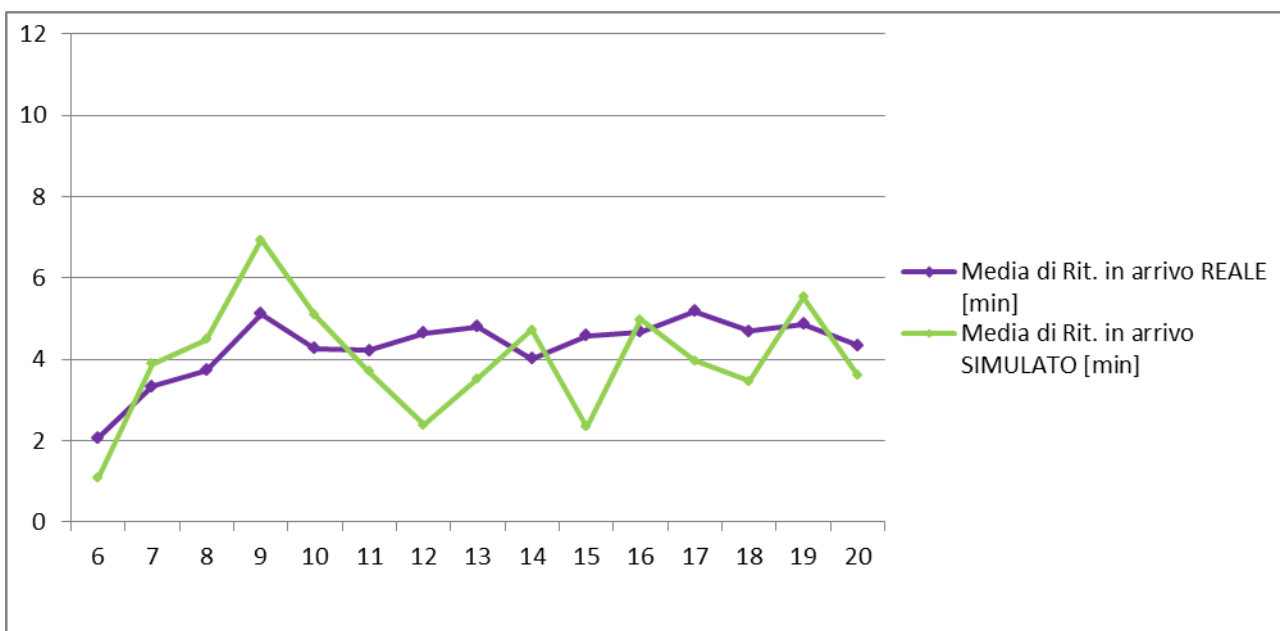


Grafico 11-21: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati nell'impianto di Vanzaghello Magnago per le corse aventi numerazione dispari.

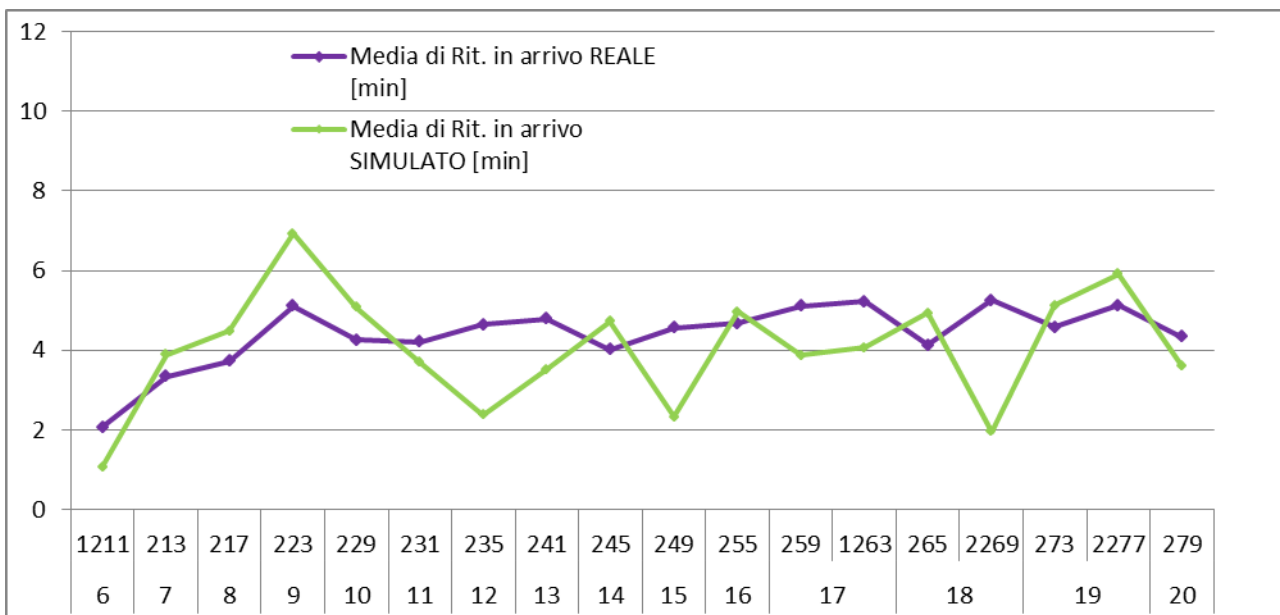


Grafico 11-22: Confronto per treno, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e il ritardo in arrivo simulato nell'impianto di Vanzaghello Magnago per le corse aventi numerazione dispari.

Impianto di Busto Arsizio FN: corse in arrivo con numerazione pari

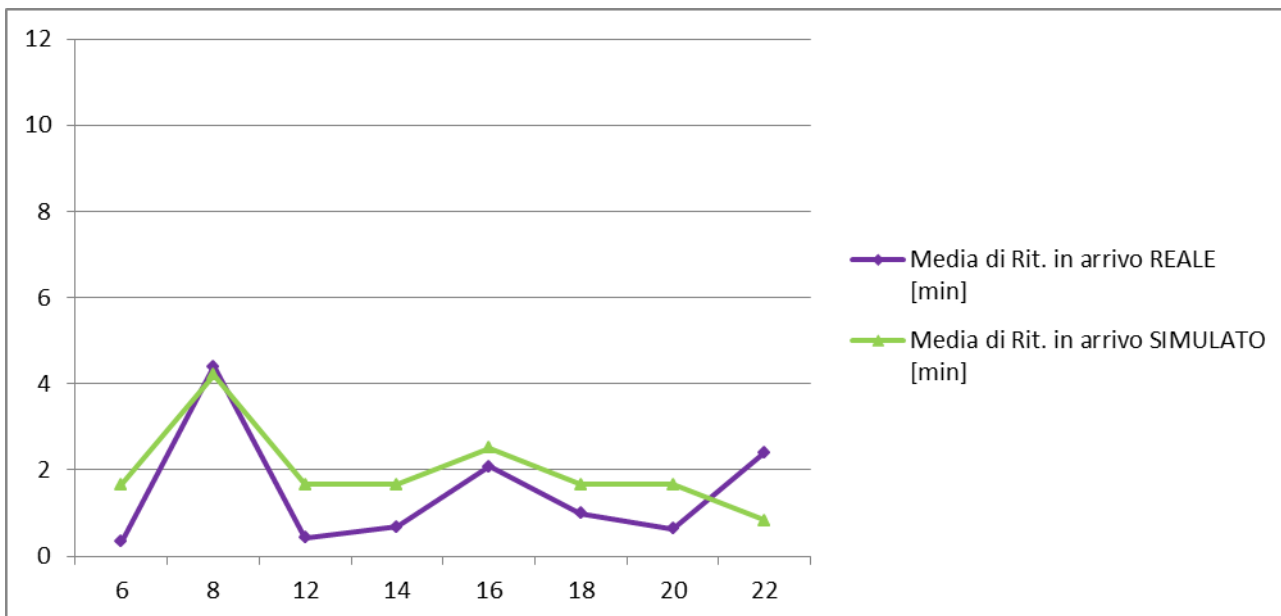


Grafico 11-23: Confronto per fascia oraria, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e l'andamento della media dei ritardi in arrivo simulati nell'impianto di Busto Arsizio FN per le corse aventi numerazione pari.

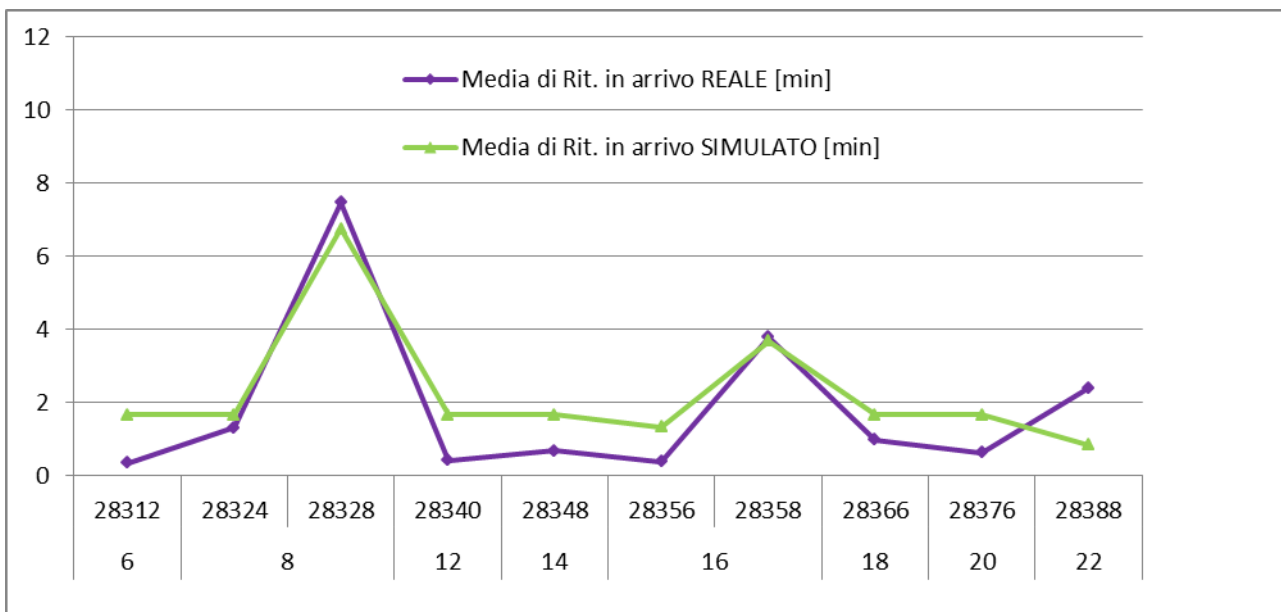


Grafico 11-24: Confronto per treno, lungo l'arco della giornata tra la media dei ritardi in arrivo reali e il ritardo in arrivo simulato nell'impianto di Busto Arsizio FN per le corse aventi numerazione pari.

Allegato 4: Grafici di analisi dei ritardi e dell'IP5 con IPM 1

L'impianto di Saronno

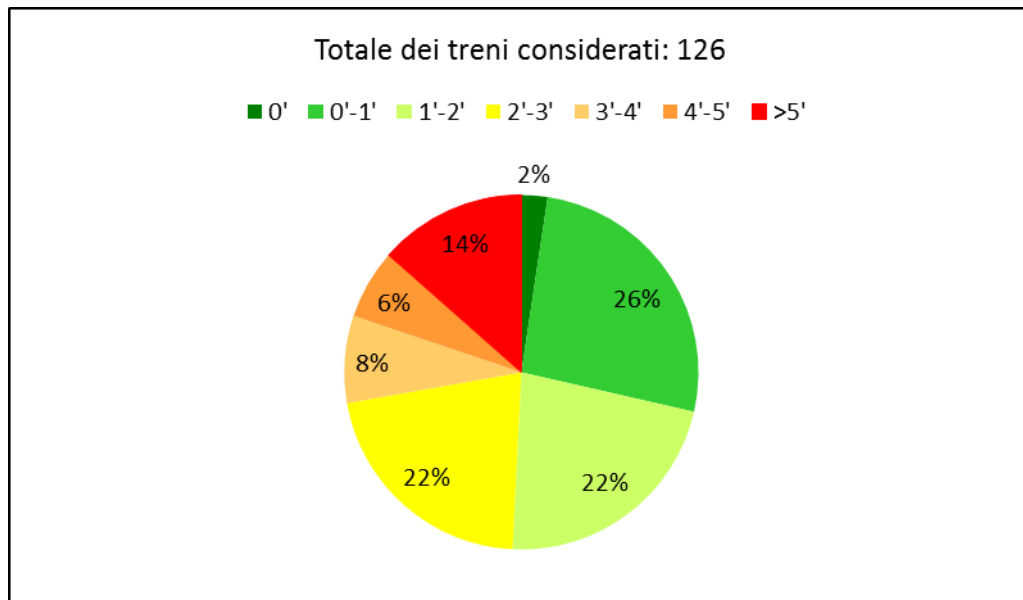


Grafico 11-25: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 1.

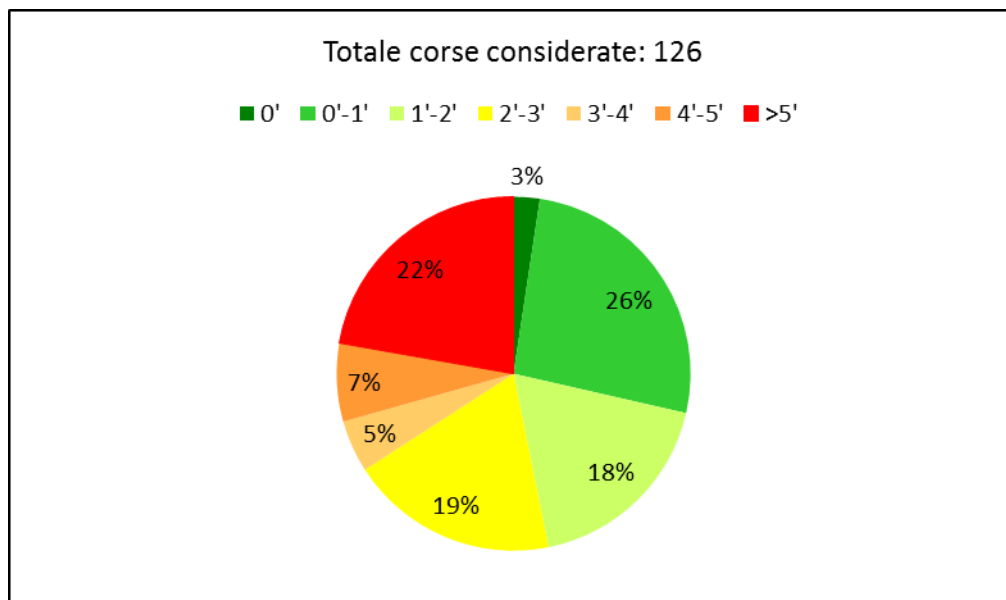


Grafico 11-26: Rappresentazione delle percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 1 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

3 ottobre 2013

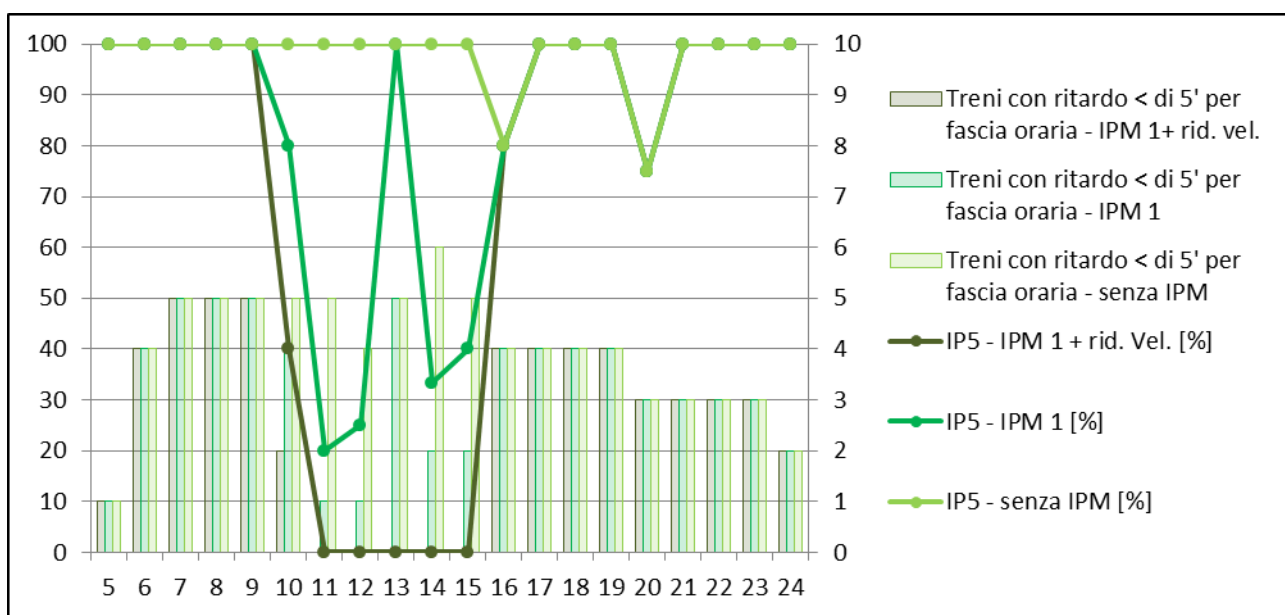


Grafico 11-27: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli IP5' h nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 1 e con l' interruzione programmata 1 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione pari nell'impianto di Saronno, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 1 e con l' interruzione programmata 1 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

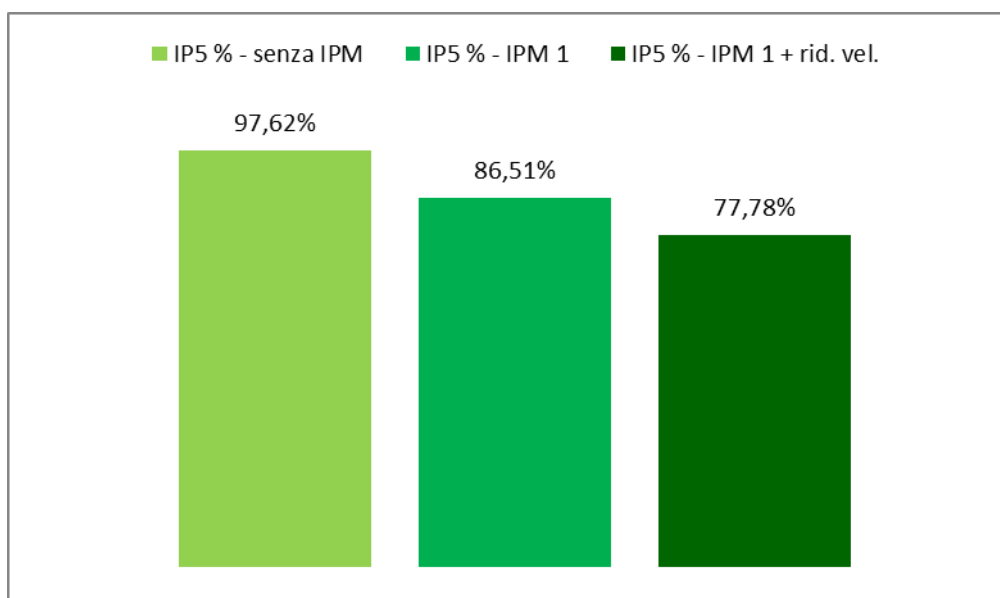


Grafico 11-28: Confronto fra gli IP5' nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 1 e con l' interruzione programmata 1 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

L'impianto di Malpensa Aeroporto

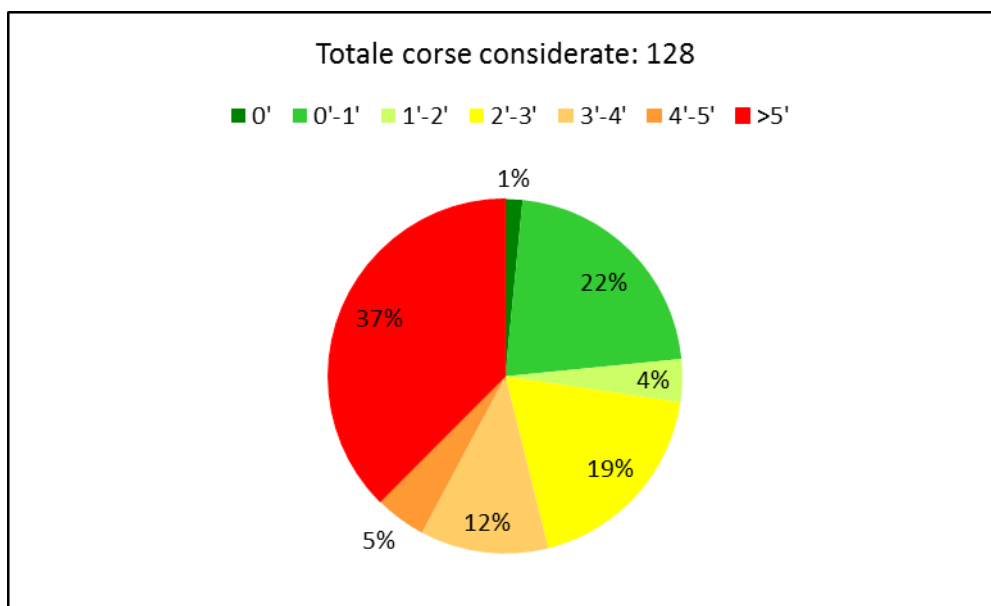


Grafico 11-29: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 1.

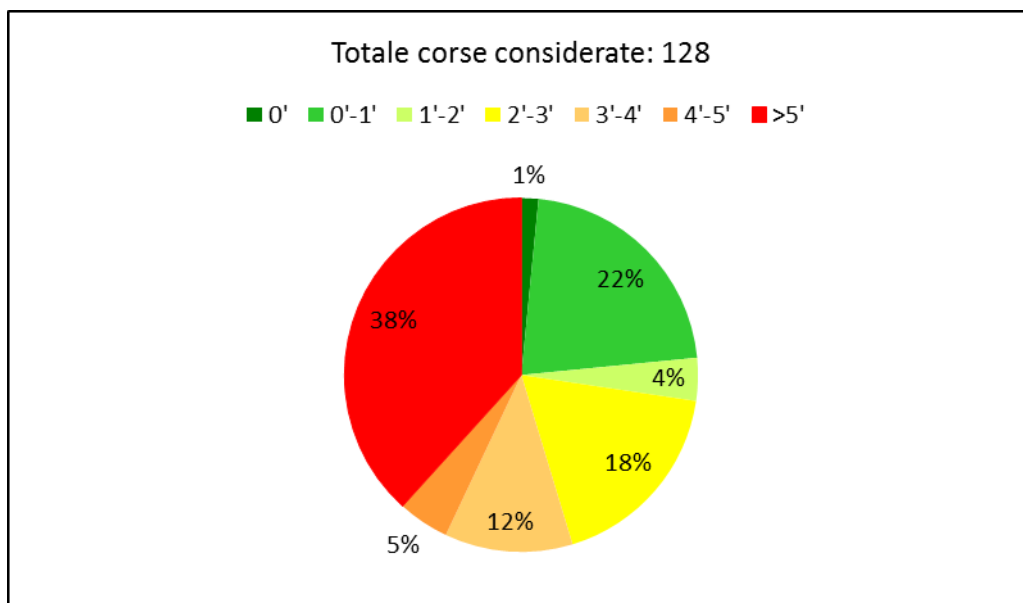


Grafico 11-30: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 1 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

3 ottobre 2013

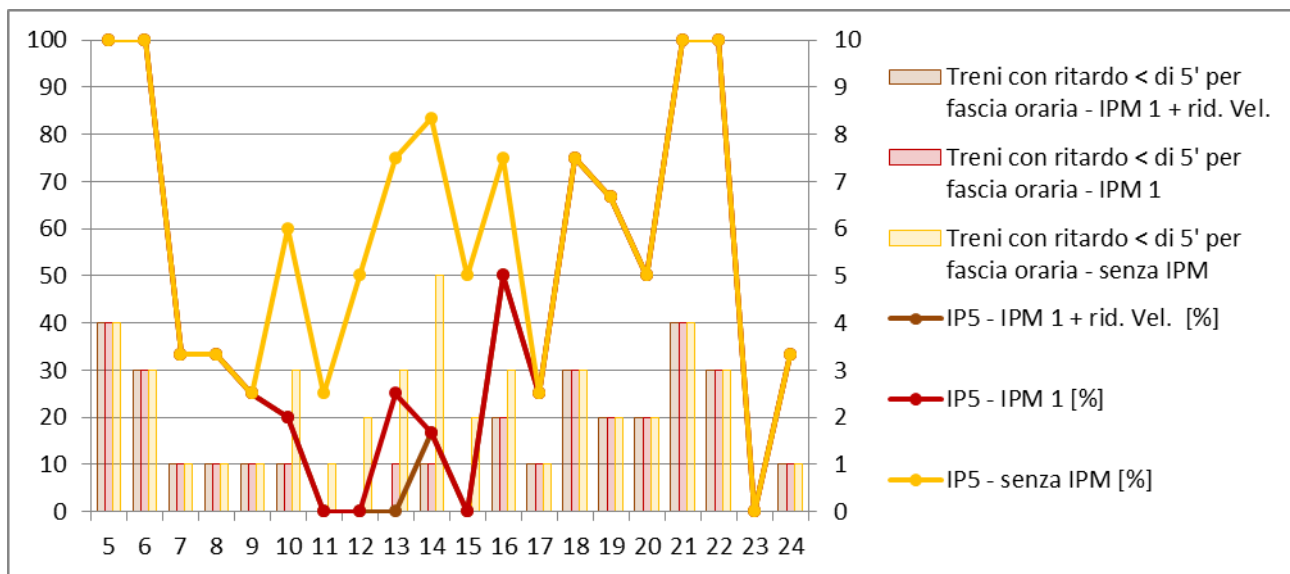


Grafico 11-31: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli *IP5' h* nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 1 e con l' interruzione programmata 1 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione dispari nell'impianto di Malpensa Aeroporto, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 1 e con l' interruzione programmata 1 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

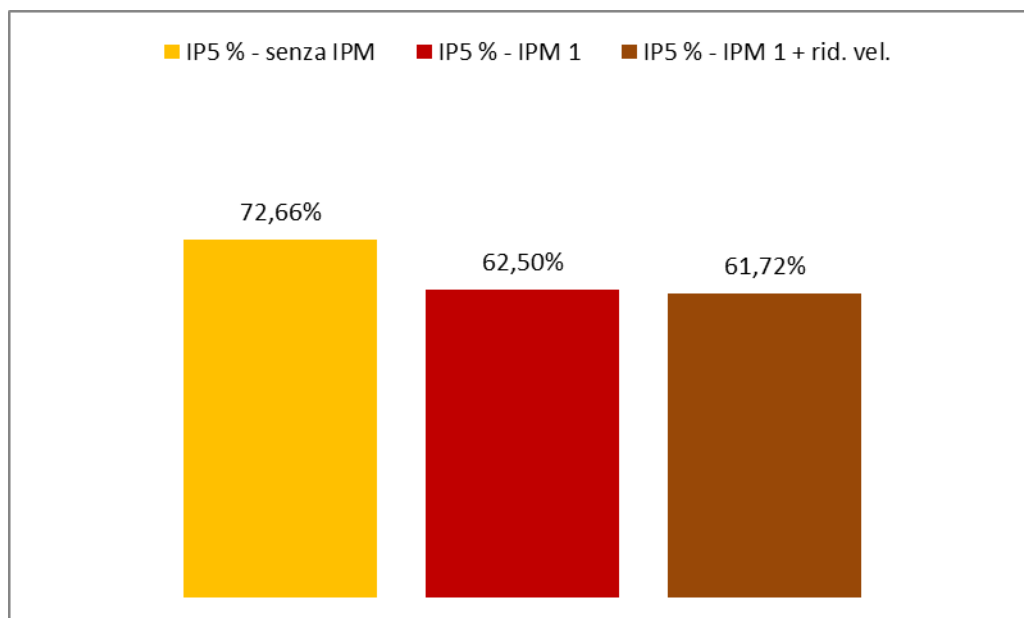


Grafico 11-32: Confronto fra gli *IP5' h* nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 1 e con l' interruzione programmata 1 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

Allegato 5: Grafici di analisi dei ritardi e dell'IP5 con IPM 2

L'impianto di Saronno

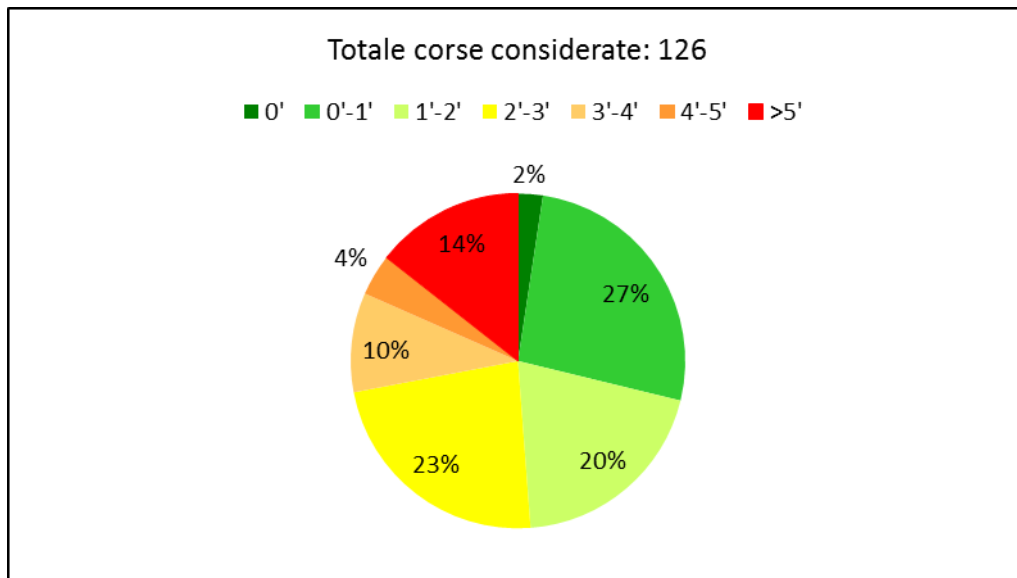


Grafico 11-33: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 2.

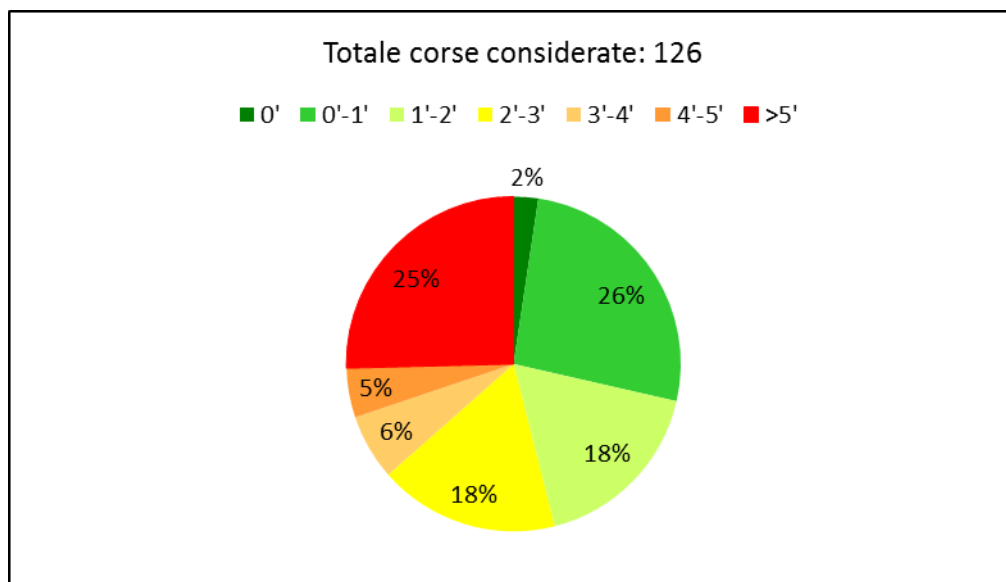


Grafico 11-34: Rappresentazione delle percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 2 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

3 ottobre 2013

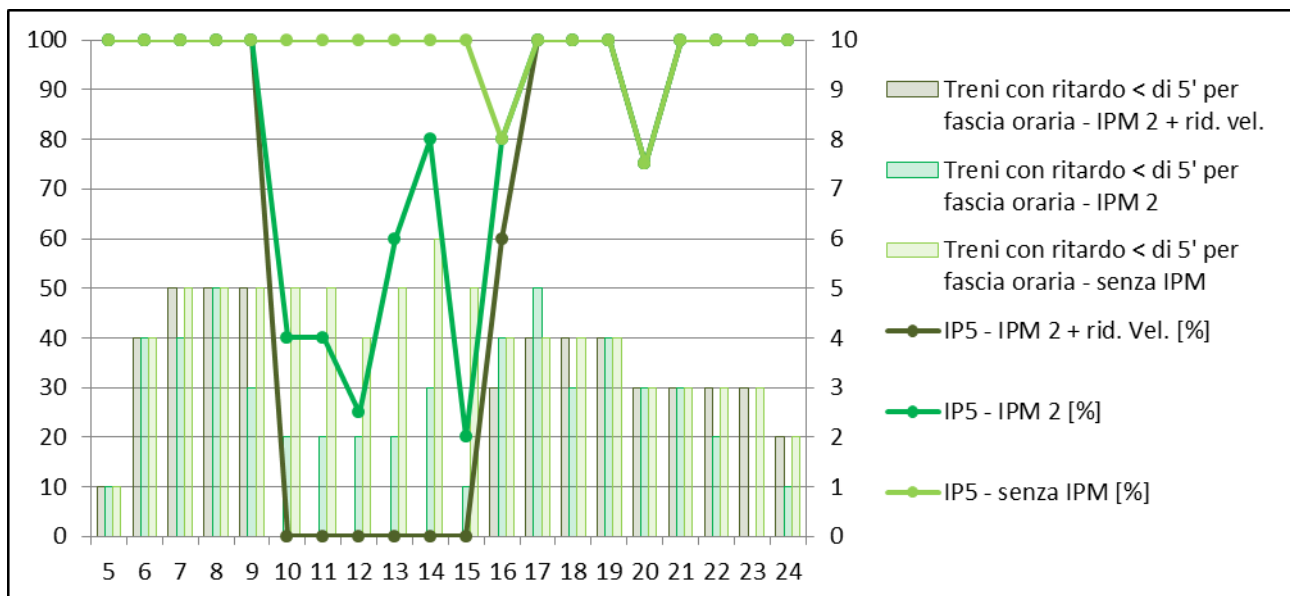


Grafico 11-35: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli *IP5' h* nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 2 e con l' interruzione programmata 2 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione pari nell'impianto di Saronno, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 2 e con l' interruzione programmata 2 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

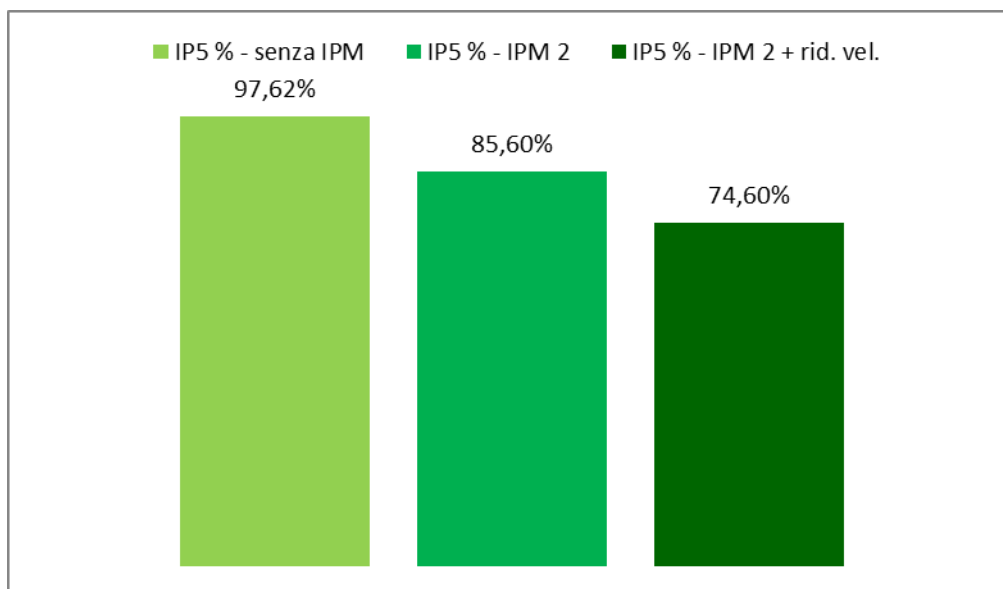


Grafico 11-36: Confronto fra gli *IP5'* nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 2 e con l' interruzione programmata 2 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

L'impianto di Malpensa Aeroporto

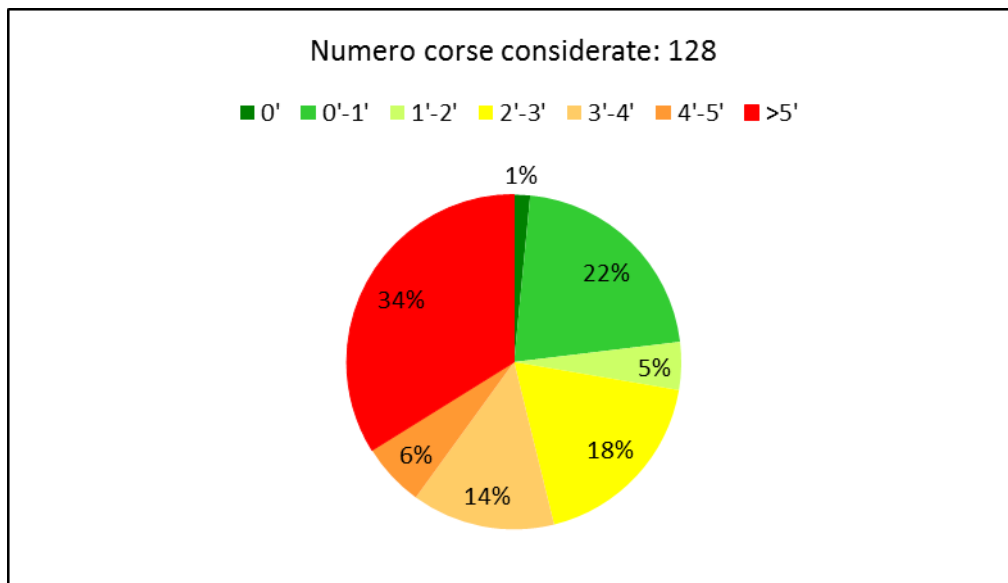


Grafico 11-37: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 2.

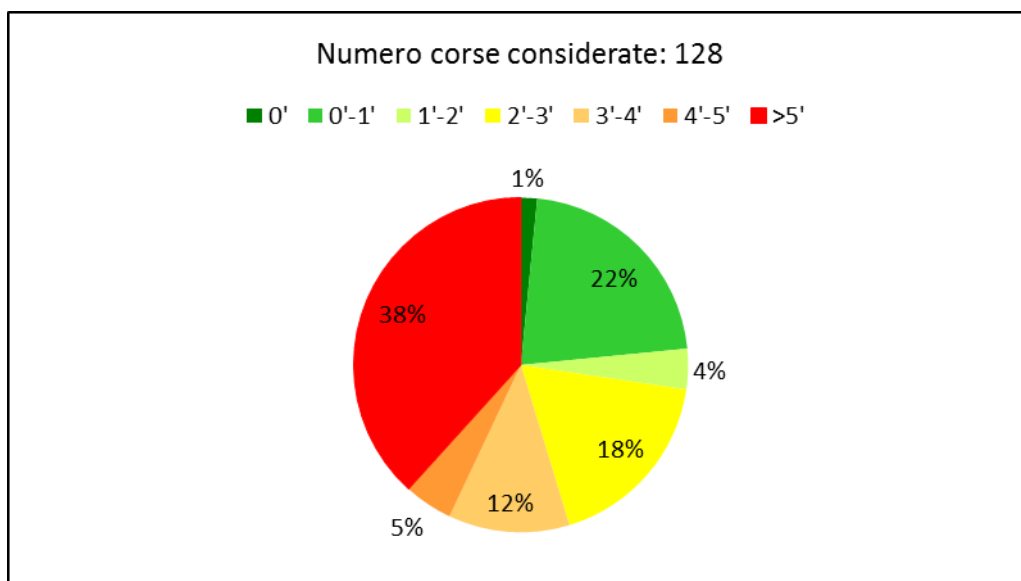


Grafico 11-38: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 2 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

3 ottobre 2013

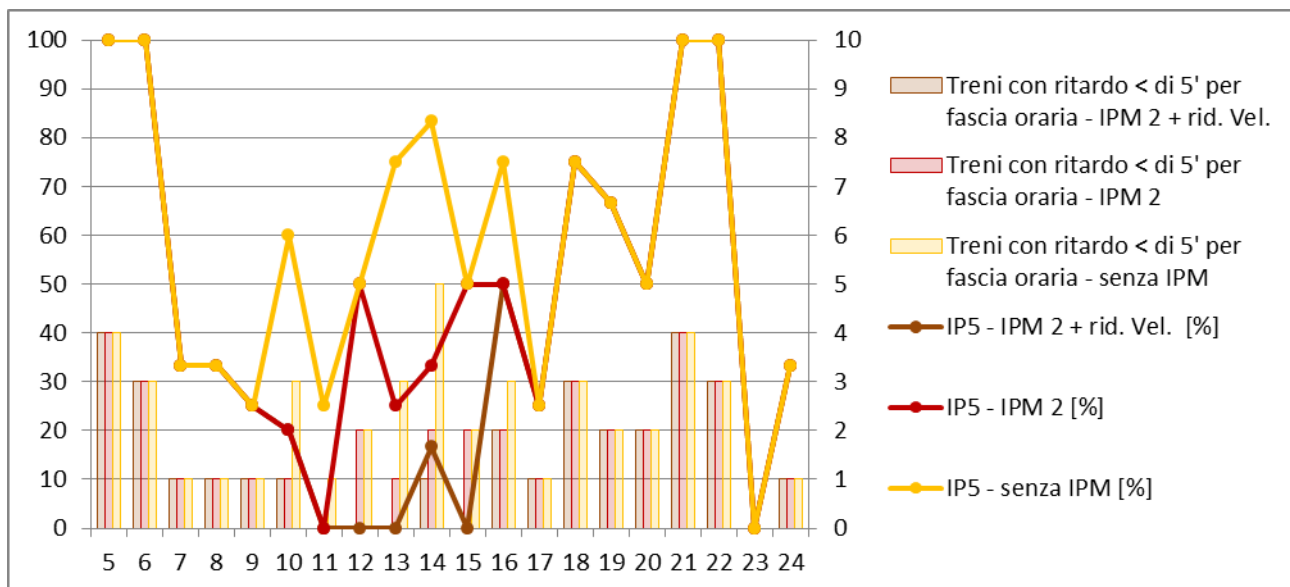


Grafico 11-39: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli *IP5' h* nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 2 e con l' interruzione programmata 2 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione dispari nell'impianto di Malpensa Aeroporto, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 2 e con l' interruzione programmata 2 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

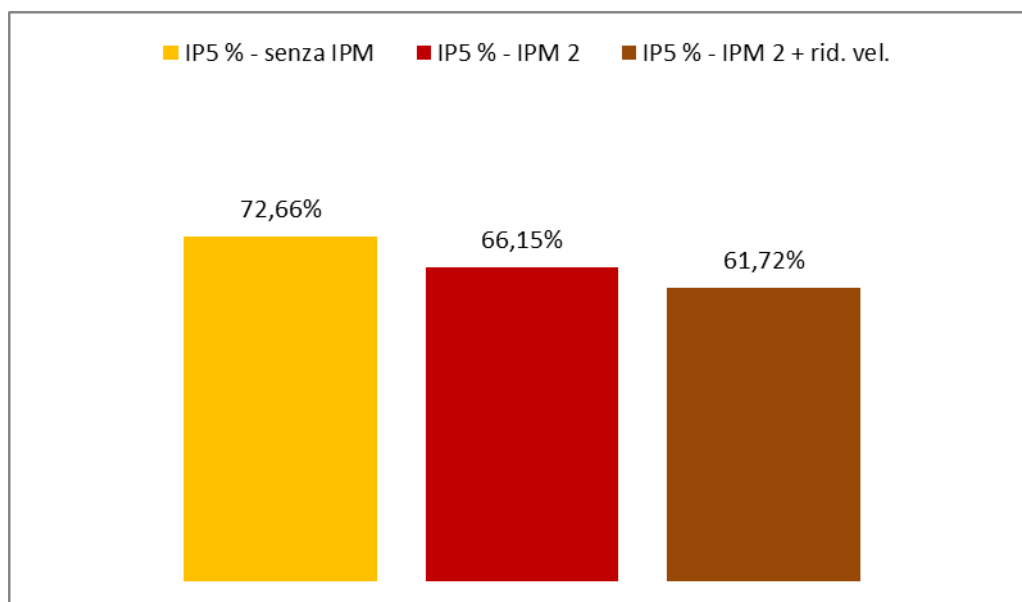


Grafico 11-40: Confronto fra gli *IP5'* nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 2 e con l' interruzione programmata 2 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

Allegato 6: Grafici di analisi dei ritardi e dell'IP5 con IPM 3

L'impianto di Saronno

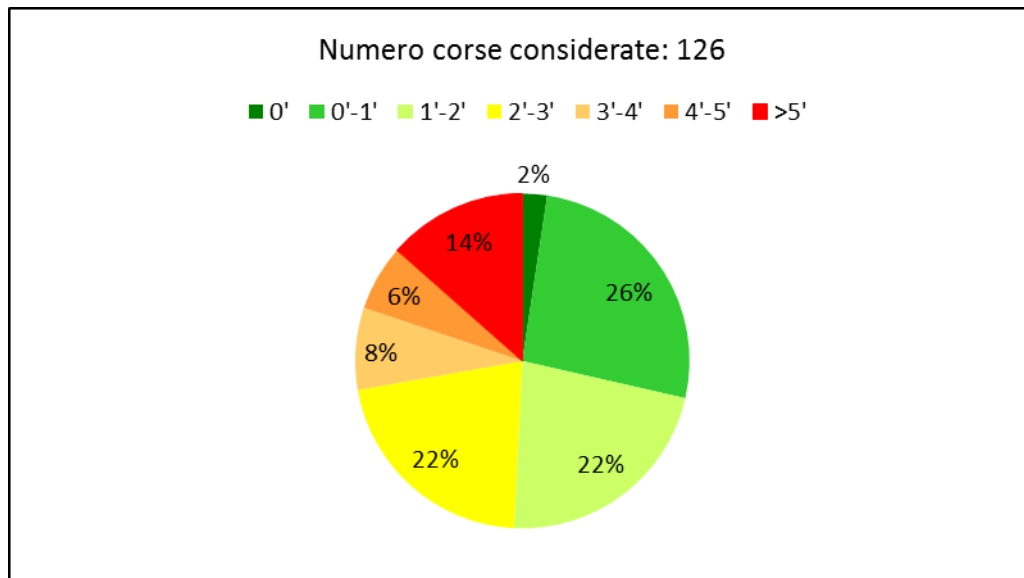


Grafico 11-41: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 3.

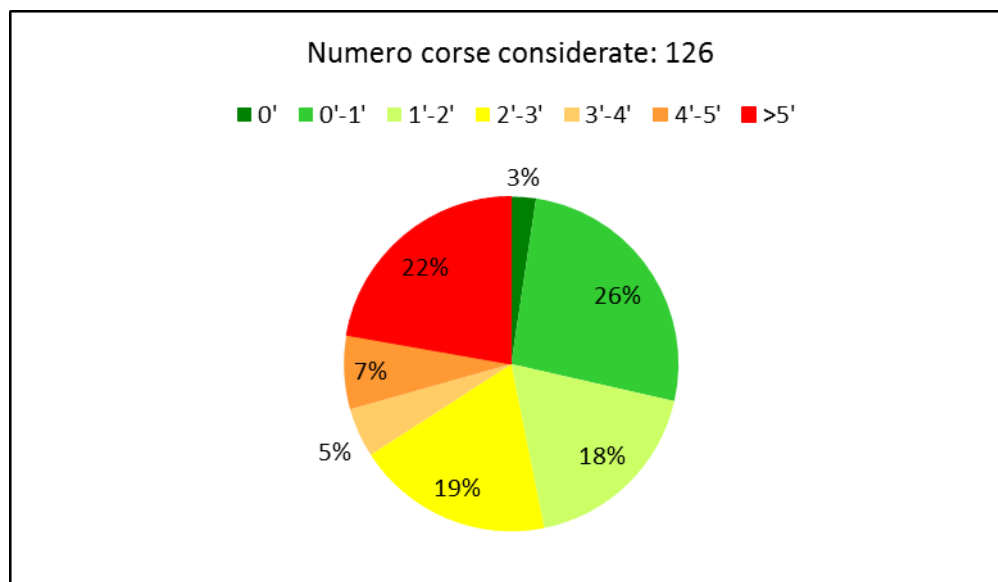


Grafico 11-42: Rappresentazione delle percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 3 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

3 ottobre 2013

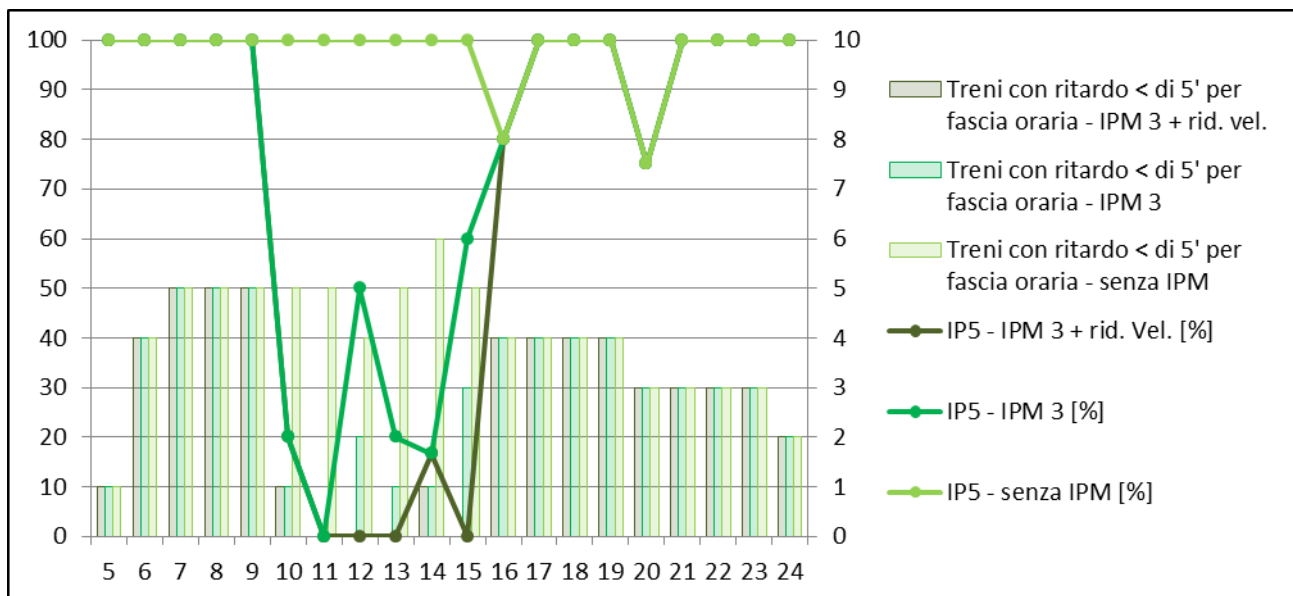


Grafico 11-43: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli IP5' h nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 3 e con l' interruzione programmata 3 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione pari nell'impianto di Saronno, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 3 e con l' interruzione programmata 3 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

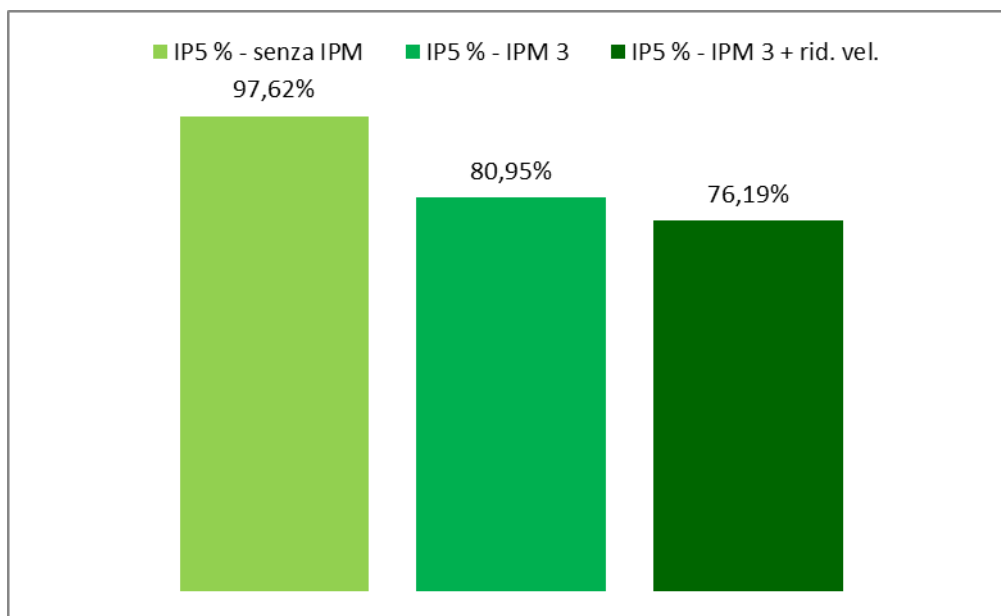


Grafico 11-44: Confronto fra gli IP5' nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 3 e con l' interruzione programmata 3 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

L'impianto di Malpensa Aeroporto

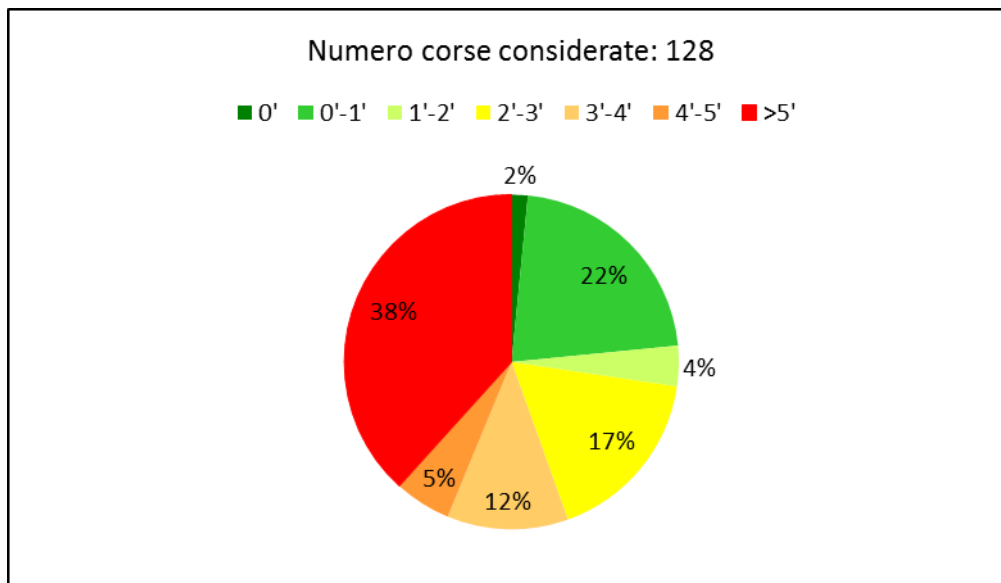


Grafico 11-45: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 3.

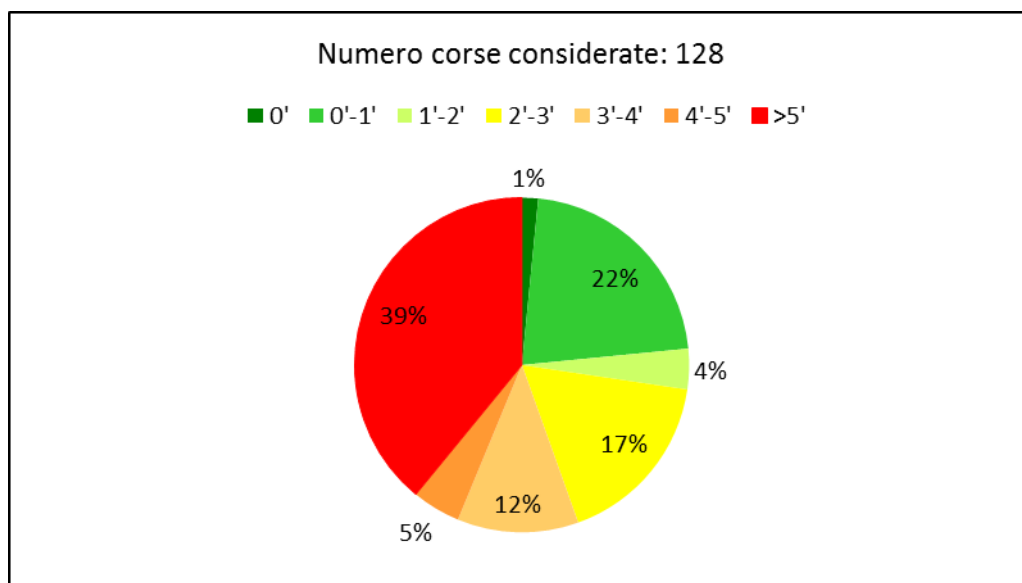


Grafico 11-46: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 3 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

3 ottobre 2013

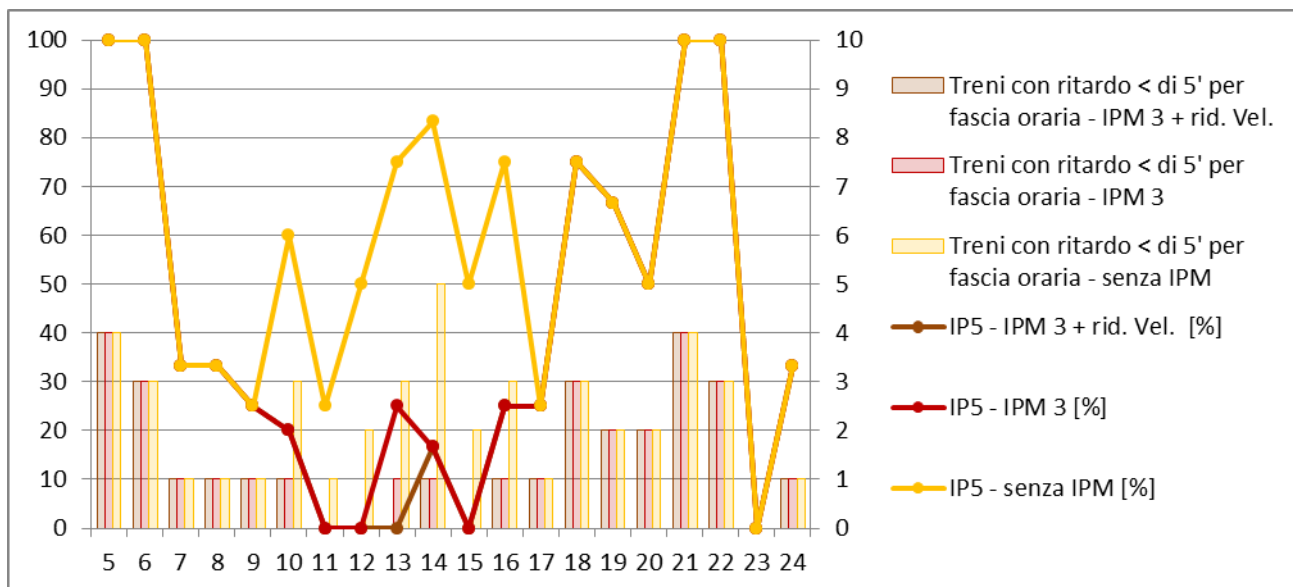


Grafico 11-47: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli IP5' h nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 3 e con l' interruzione programmata 3 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione dispari nell'impianto di Malpensa Aeroporto, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 3 e con l' interruzione programmata 3 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

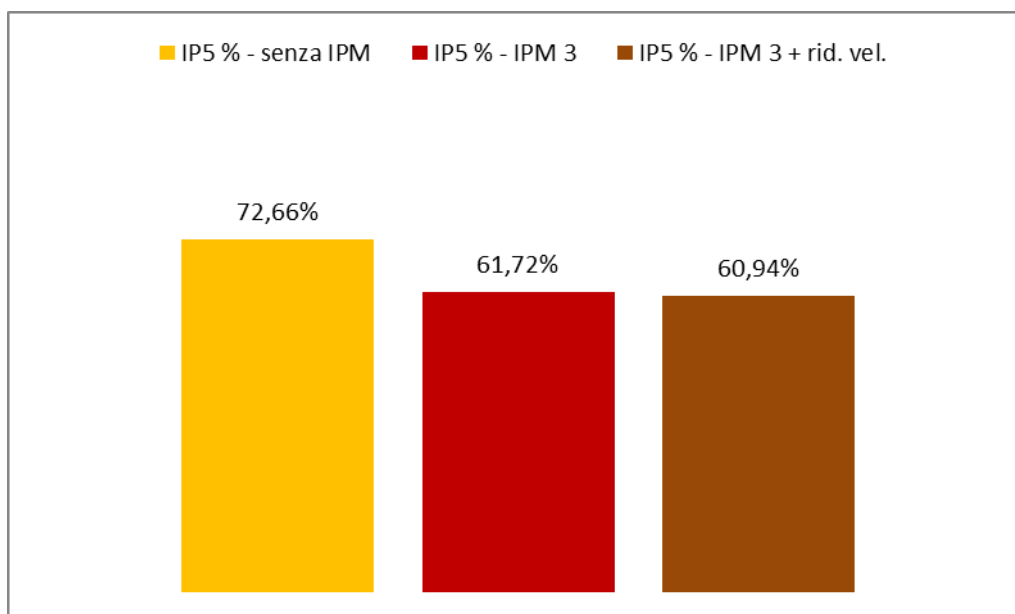


Grafico 11-48: Confronto fra gli IP5' nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 3 e con l' interruzione programmata 3 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

Allegato 7: Grafici di analisi dei ritardi e dell'IP5 con IPM 4

L'impianto di Saronno

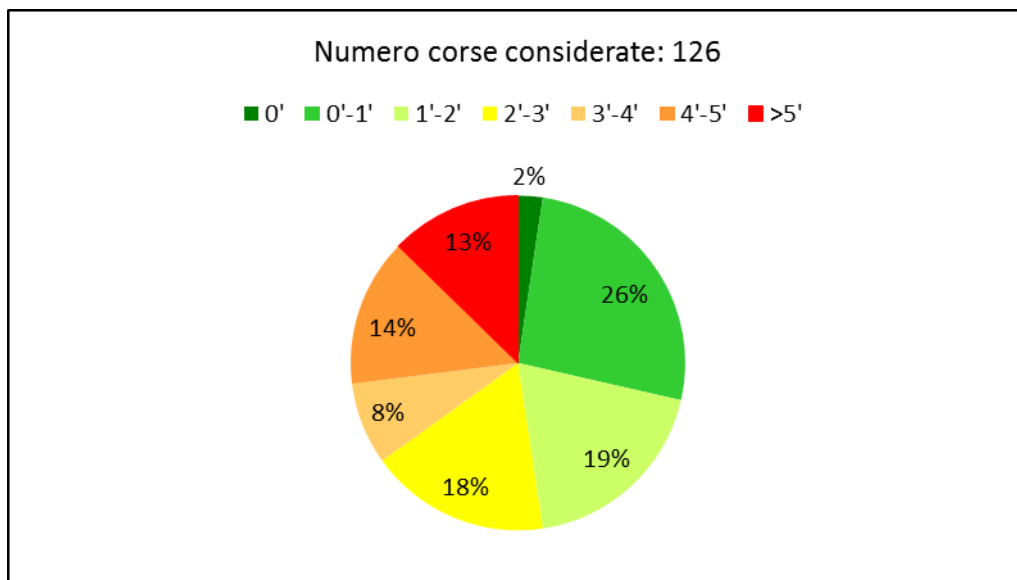


Grafico 11-49: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 4.

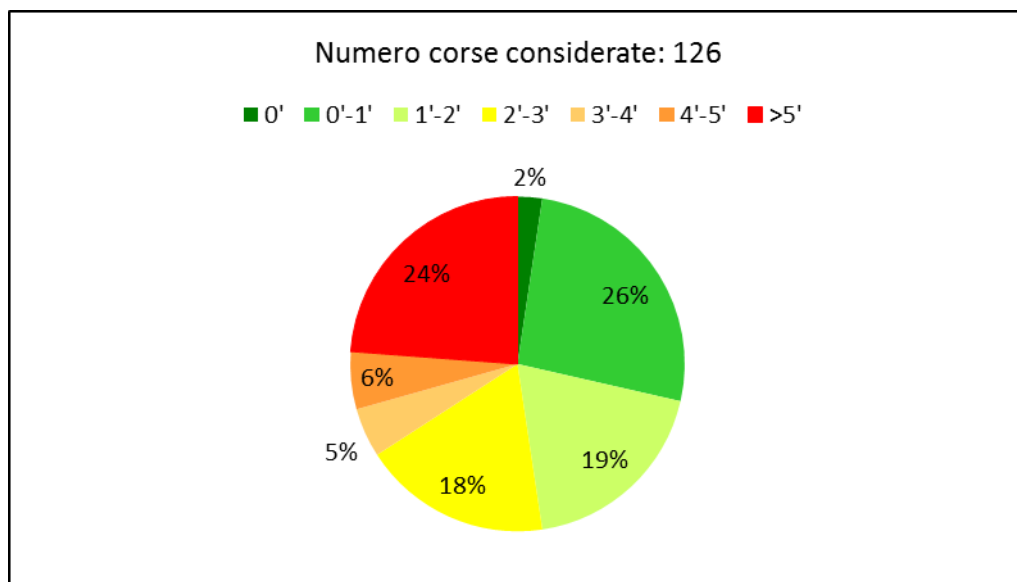


Grafico 11-50: Rappresentazione delle percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 4 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

3 ottobre 2013

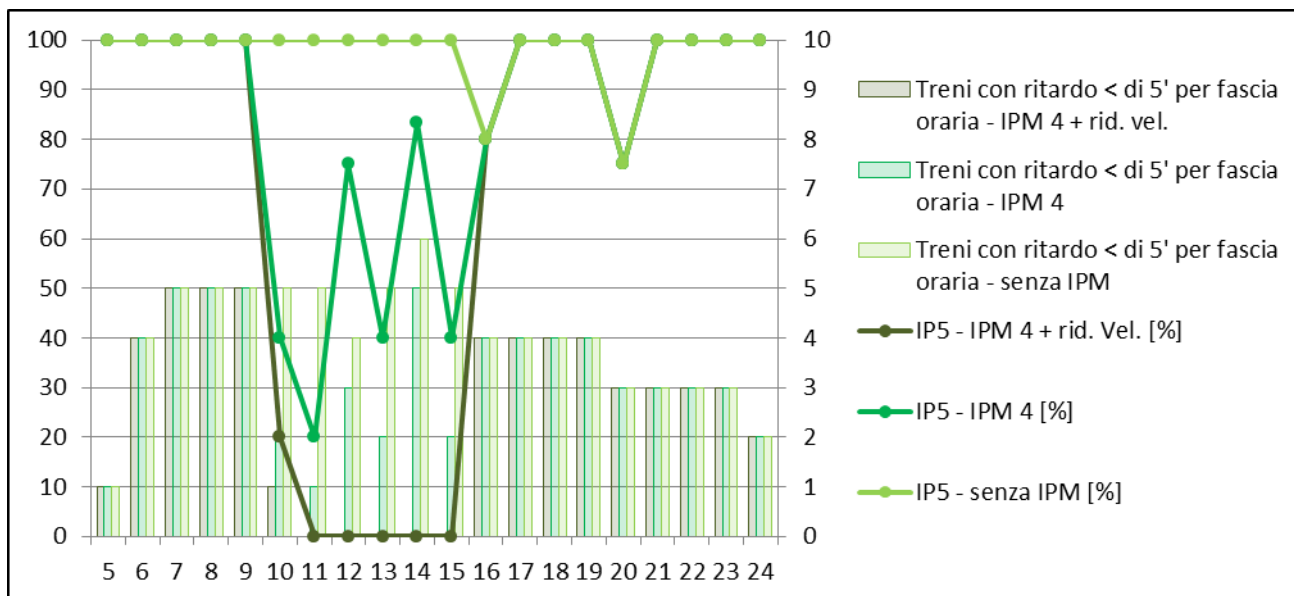


Grafico 11-51: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli IP5' h nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 4 e con l' interruzione programmata 4 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione pari nell'impianto di Saronno, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 4 e con l' interruzione programmata 4 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

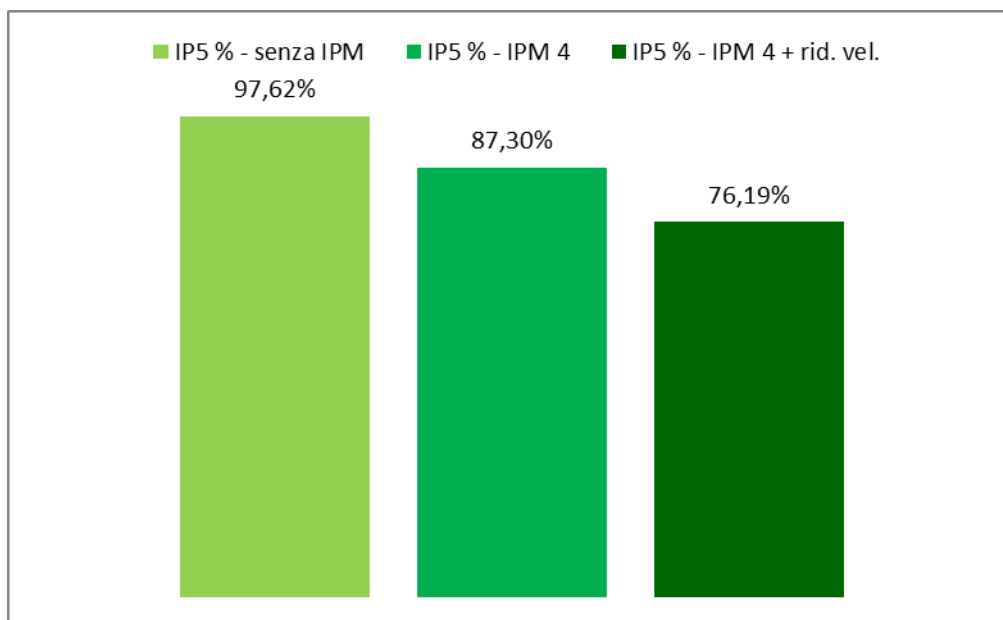


Grafico 11-52: Confronto fra gli IP5' nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 4 e con l' interruzione programmata 4 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

L'impianto di Malpensa Aeroporto

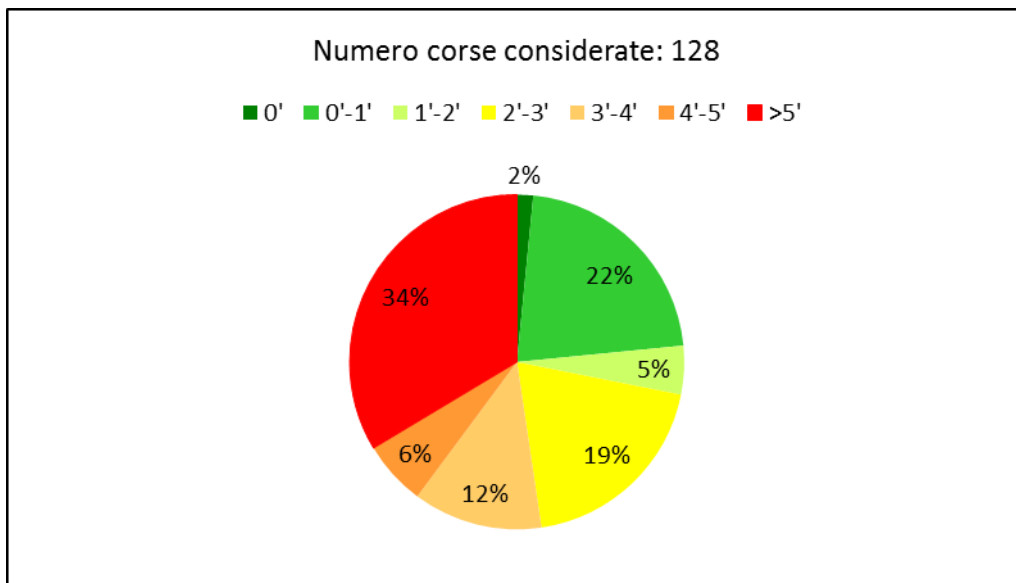


Grafico 11-53: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 4.

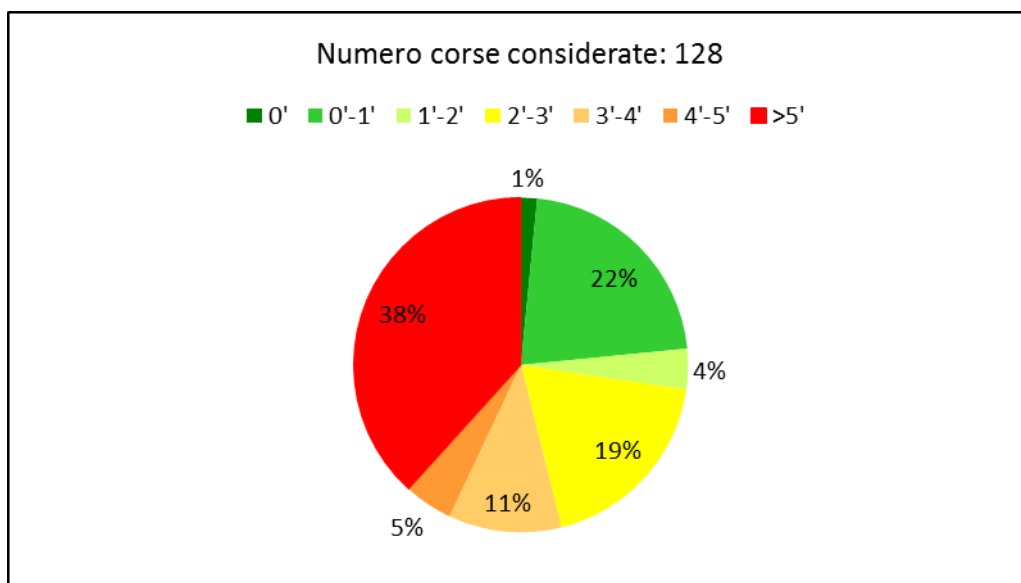


Grafico 11-54: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 4 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

3 ottobre 2013

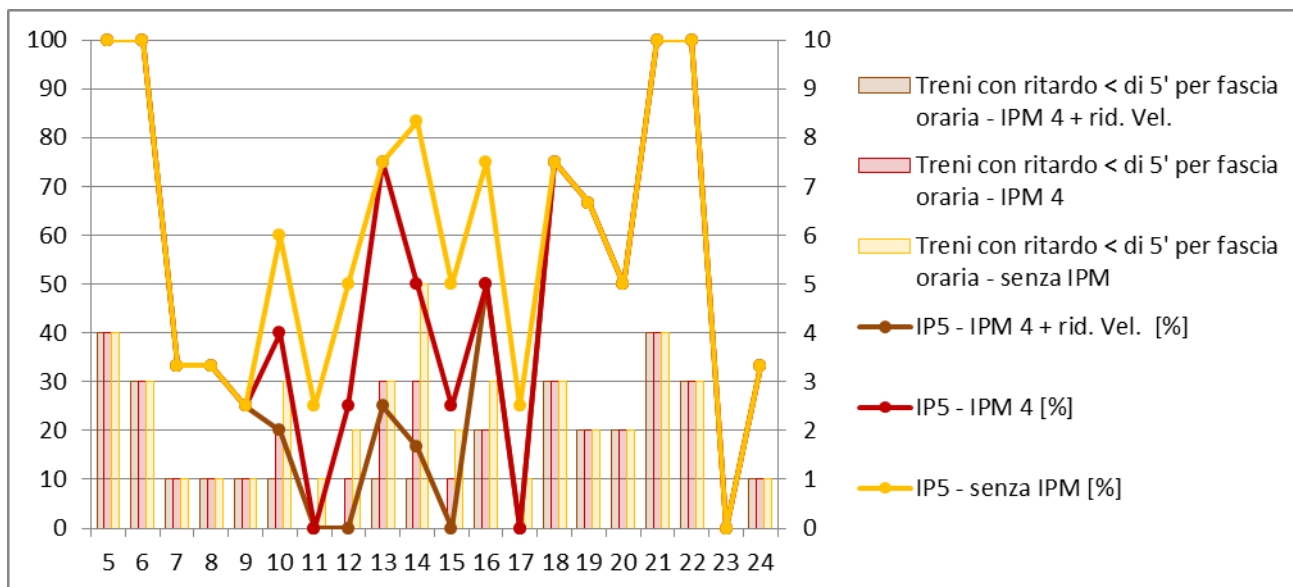


Grafico 11-55: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli *IP5' h* nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 4 e con l' interruzione programmata 4 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione dispari nell'impianto di Malpensa Aeroporto, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 4 e con l' interruzione programmata 4 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

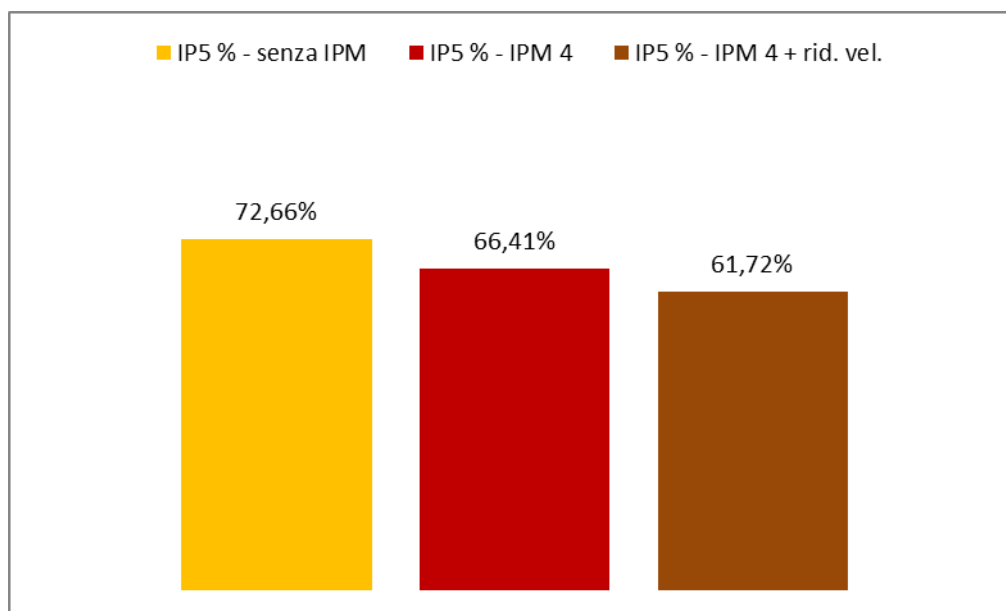


Grafico 11-56: Confronto fra gli *IP5' h* nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 4 e con l' interruzione programmata 4 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

Allegato 8: Grafici di analisi dei ritardi e dell'IP5 con IPM 5

L'impianto di Saronno

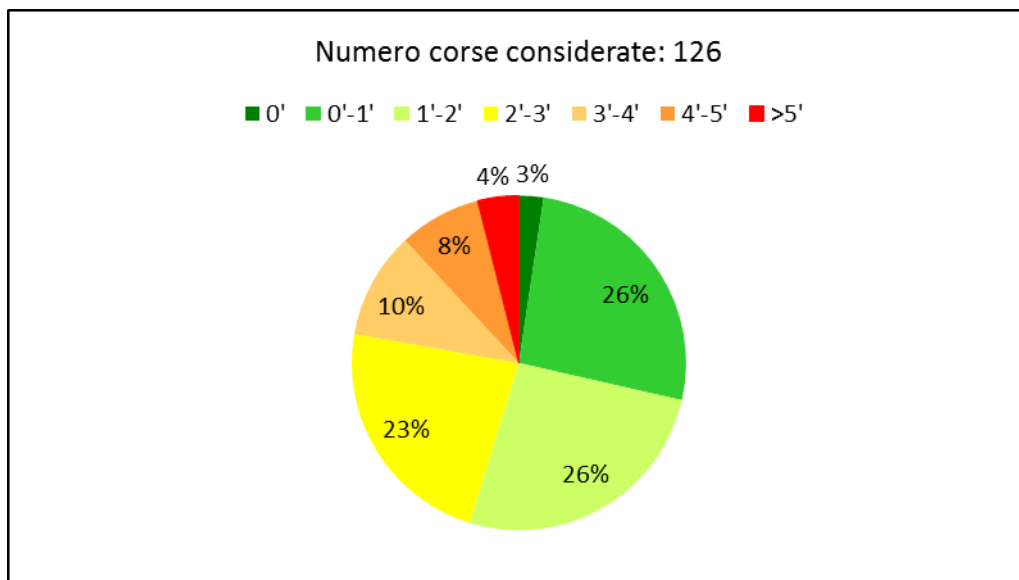


Grafico 11-57: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 5.

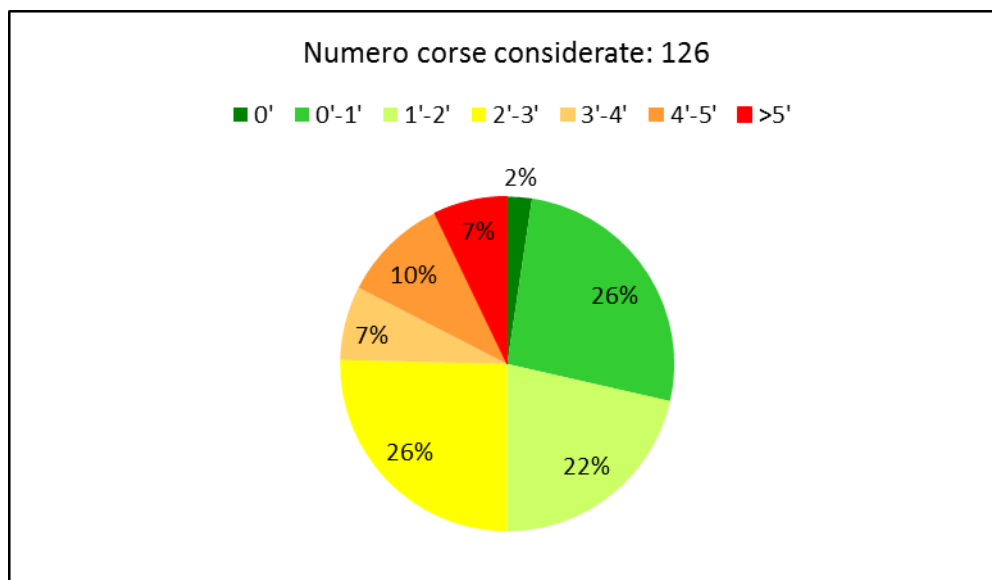


Grafico 11-58: Rappresentazione delle percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 5 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

3 ottobre 2013

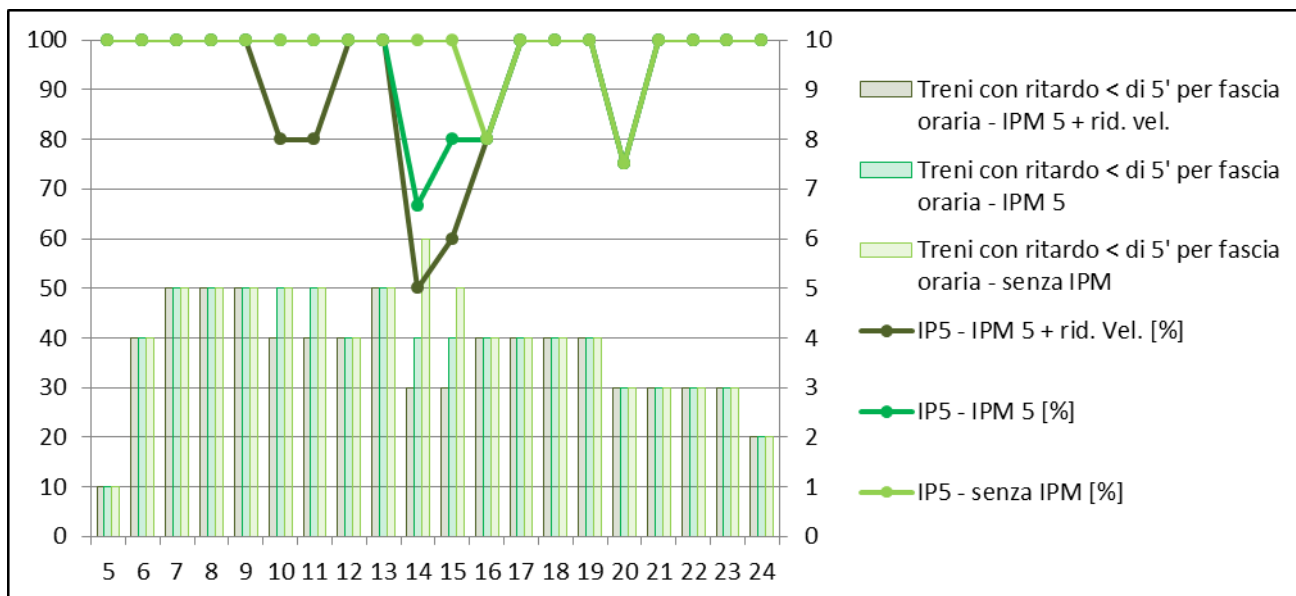


Grafico 11-59: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli *IP5' h* nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 5 e con l' interruzione programmata 5 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione pari nell'impianto di Saronno, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 5 e con l' interruzione programmata 5 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

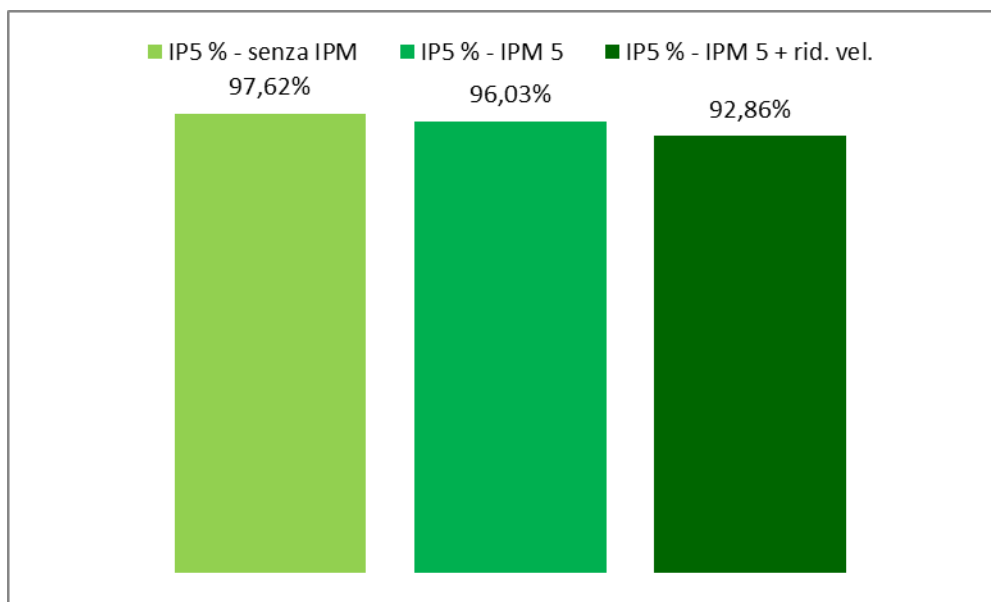


Grafico 11-60: Confronto fra gli *IP5'* nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 5 e con l' interruzione programmata 5 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

L'impianto di Malpensa Aeroporto

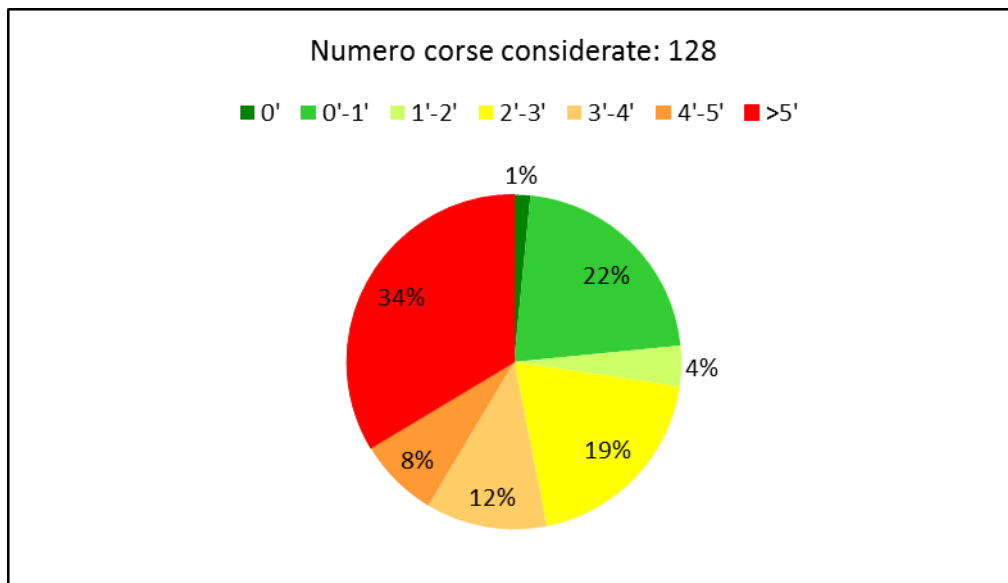


Grafico 11-61: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 5.

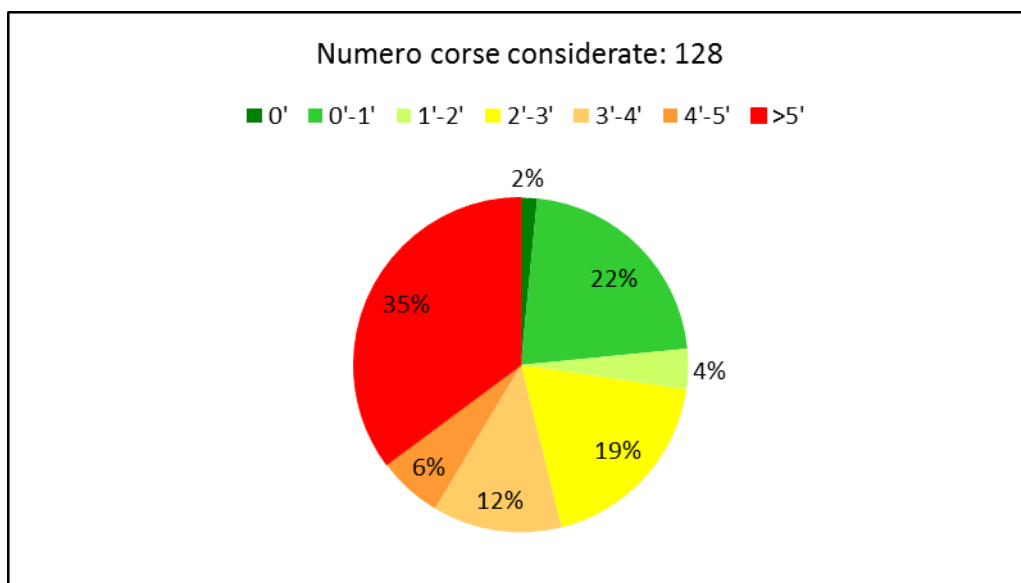


Grafico 11-62: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 5 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

3 ottobre 2013

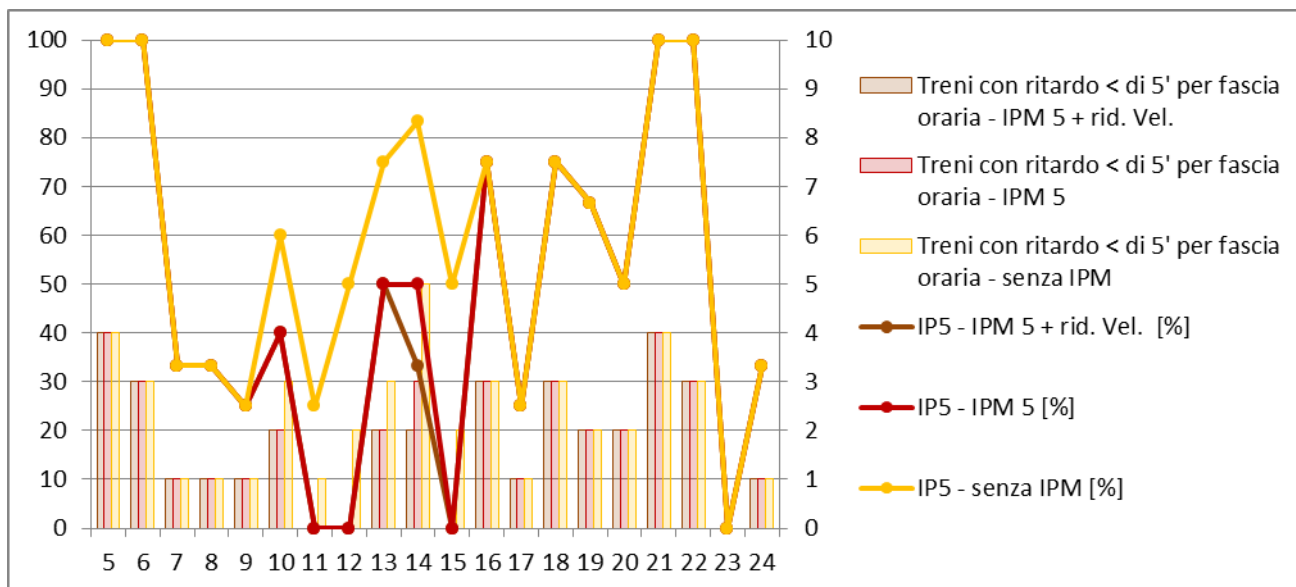


Grafico 11-63: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli *IP5' h* nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 5 e con l' interruzione programmata 5 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione dispari nell'impianto di Malpensa Aeroporto, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 5 e con l' interruzione programmata 5 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

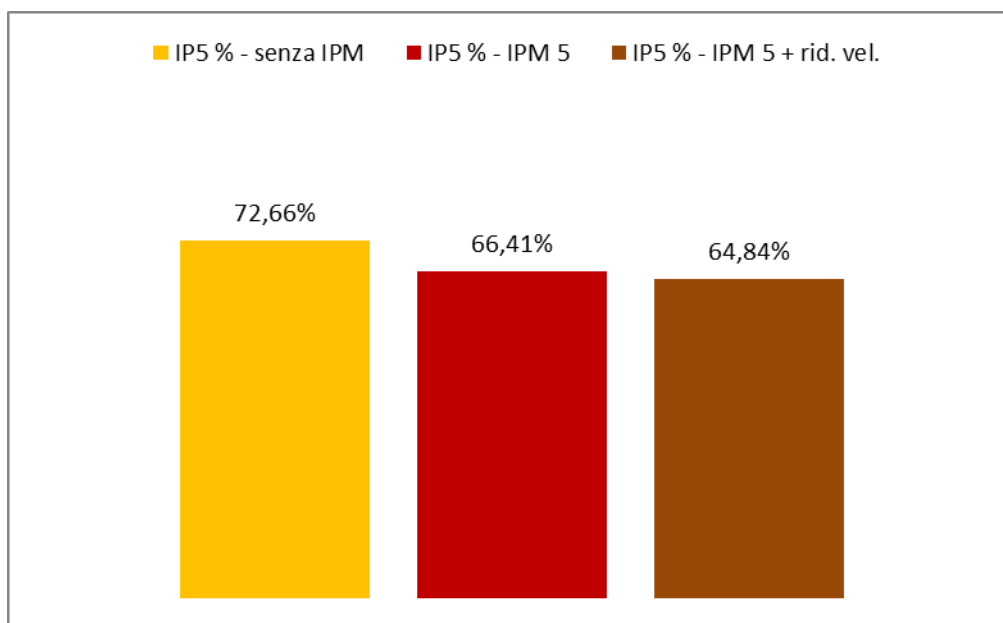


Grafico 11-64: Confronto fra gli *IP5'* nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 5 e con l' interruzione programmata 5 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

Allegato 9: Grafici di analisi dei ritardi e dell'IP5 con IPM 6

L'impianto di Saronno

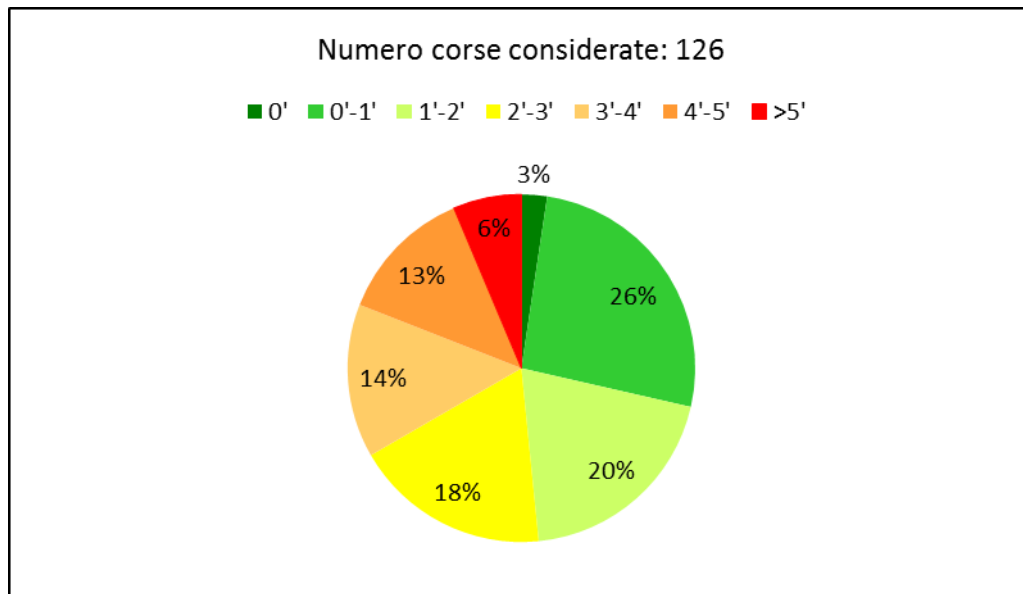


Grafico 11-65: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 6.

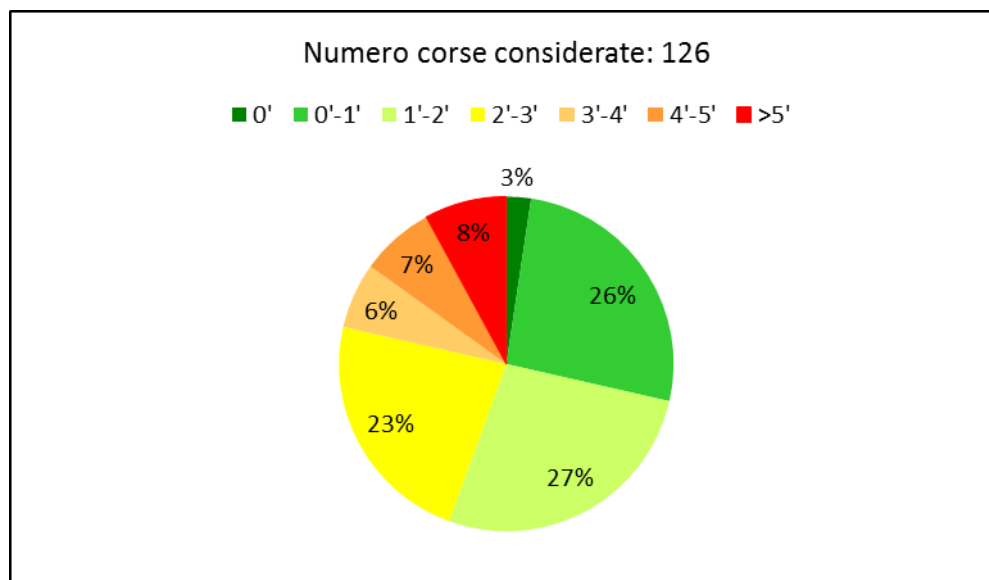


Grafico 11-66: Rappresentazione delle percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 6 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

3 ottobre 2013

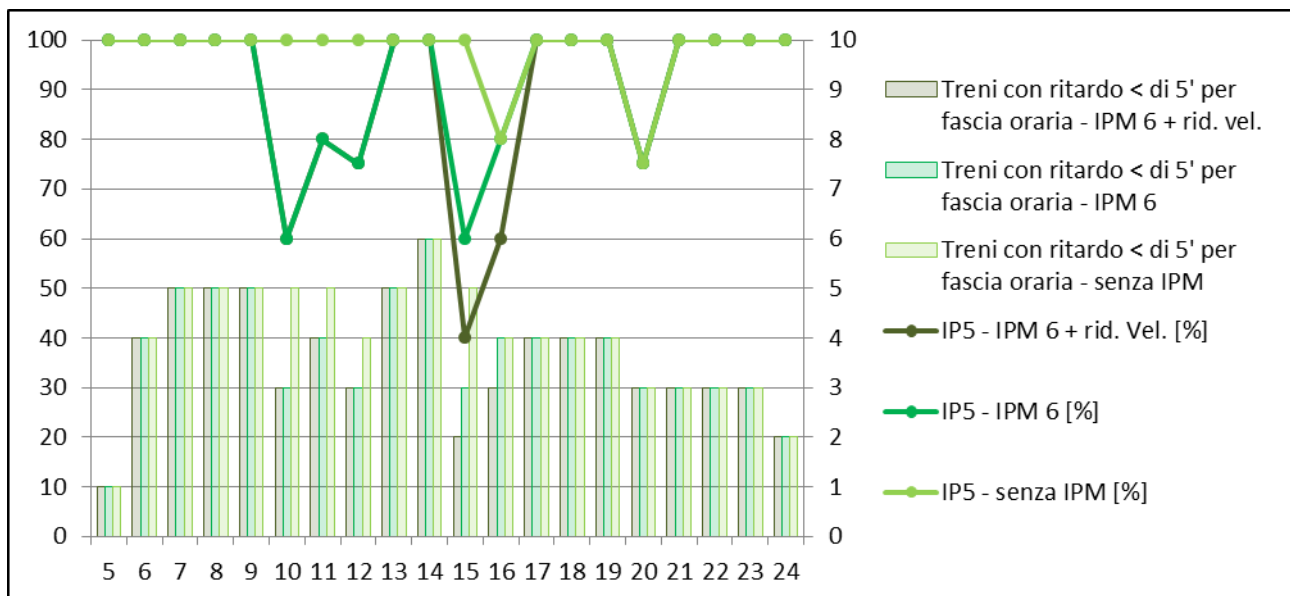


Grafico 11-67: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli *IP5' h* nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 6 e con l' interruzione programmata 6 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione pari nell'impianto di Saronno, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 6 e con l' interruzione programmata 6 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

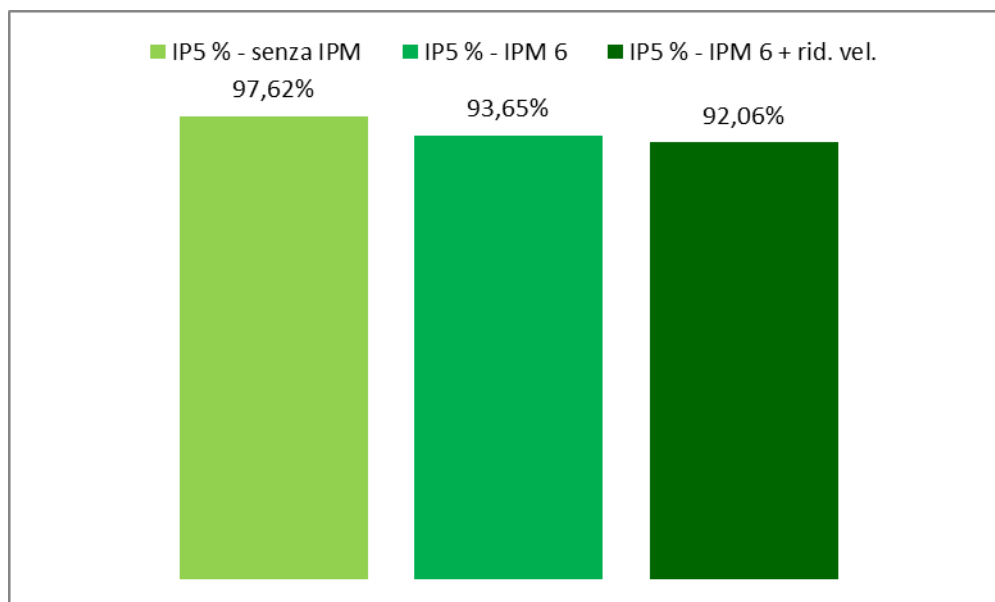


Grafico 11-68: Confronto fra gli *IP5'* nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 6 e con l' interruzione programmata 6 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

L'impianto di Malpensa Aeroporto

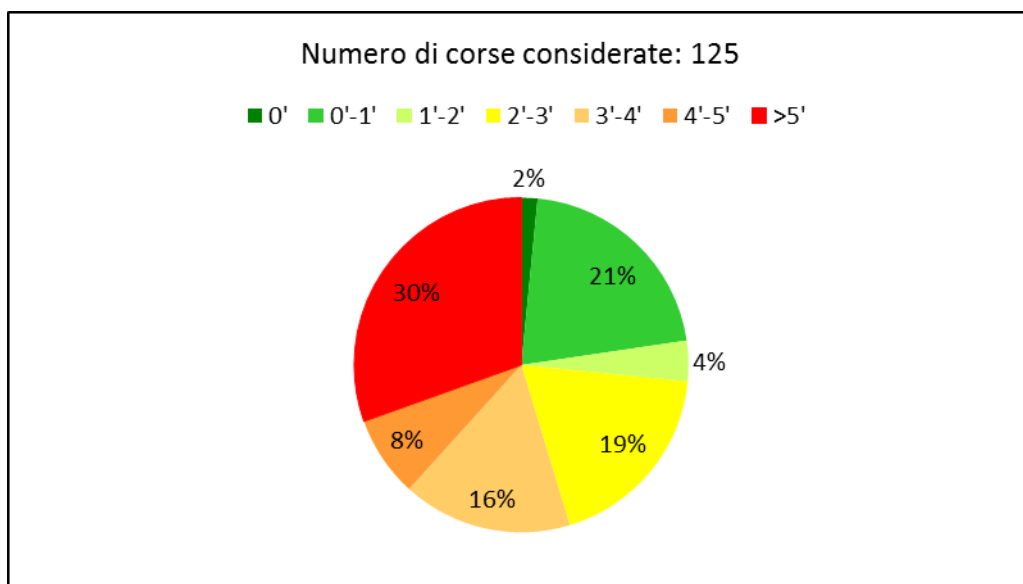


Grafico 11-69: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 6.

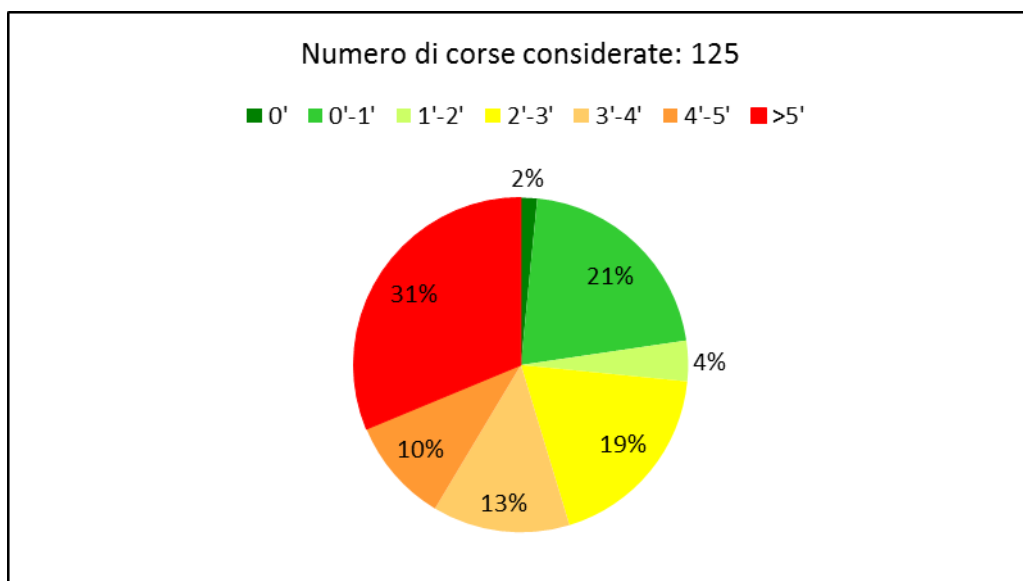


Grafico 11-70: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 6 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

3 ottobre 2013

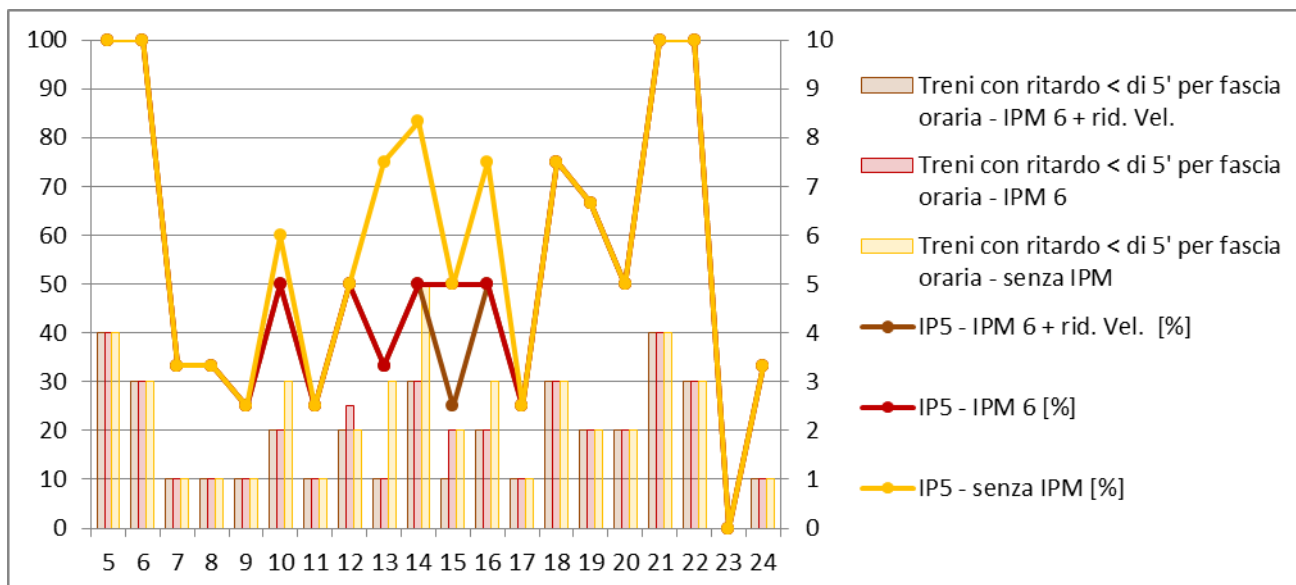


Grafico 11-71: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli *IP5' h* nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 6 e con l' interruzione programmata 6 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione dispari nell'impianto di Malpensa Aeroporto, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 6 e con l' interruzione programmata 6 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

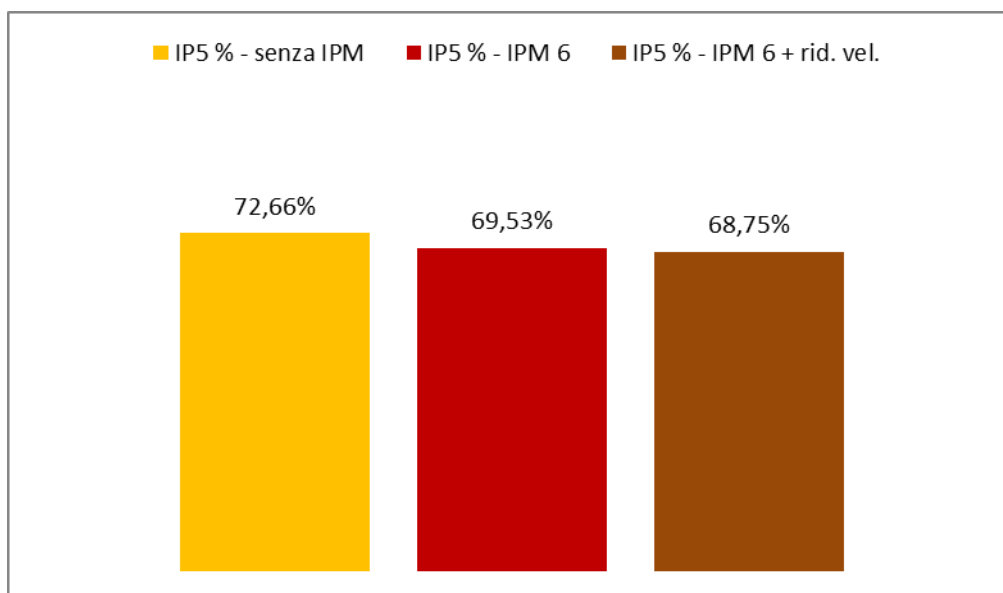


Grafico 11-72: Confronto fra gli *IP5'* nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 6 e con l' interruzione programmata 6 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

Allegato 10: Grafici di analisi dei ritardi e dell'IP5 con IPM 7

L'impianto di Saronno

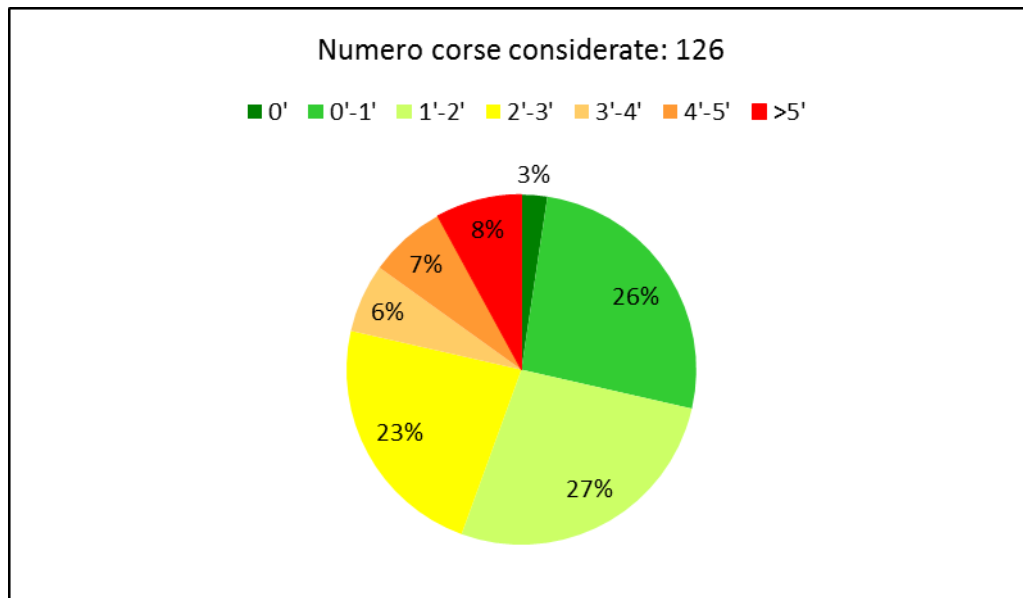


Grafico 11-73: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 7.

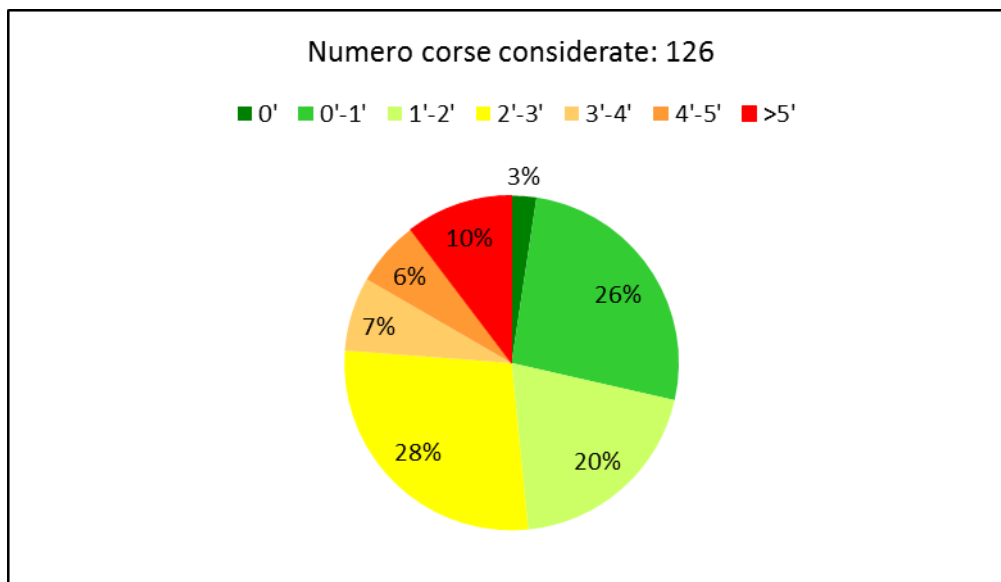


Grafico 11-74: Rappresentazione delle percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 7 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

3 ottobre 2013

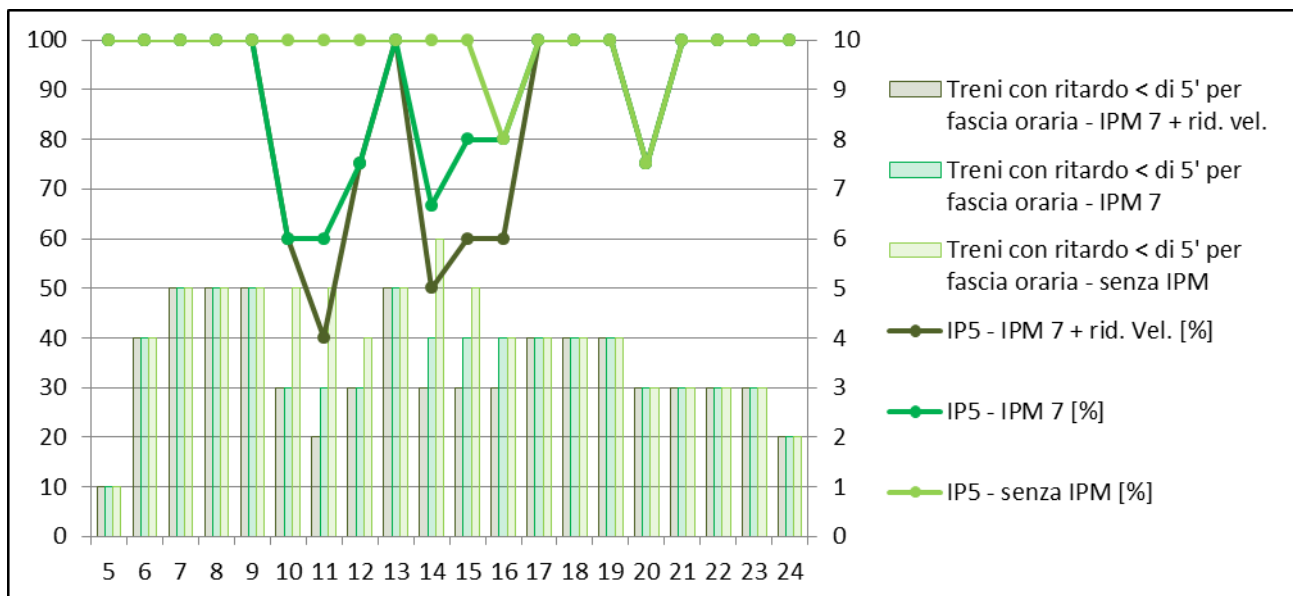


Grafico 11-75: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli IP5' h nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 7 e con l' interruzione programmata 7 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione pari nell'impianto di Saronno, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 7 e con l' interruzione programmata 7 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

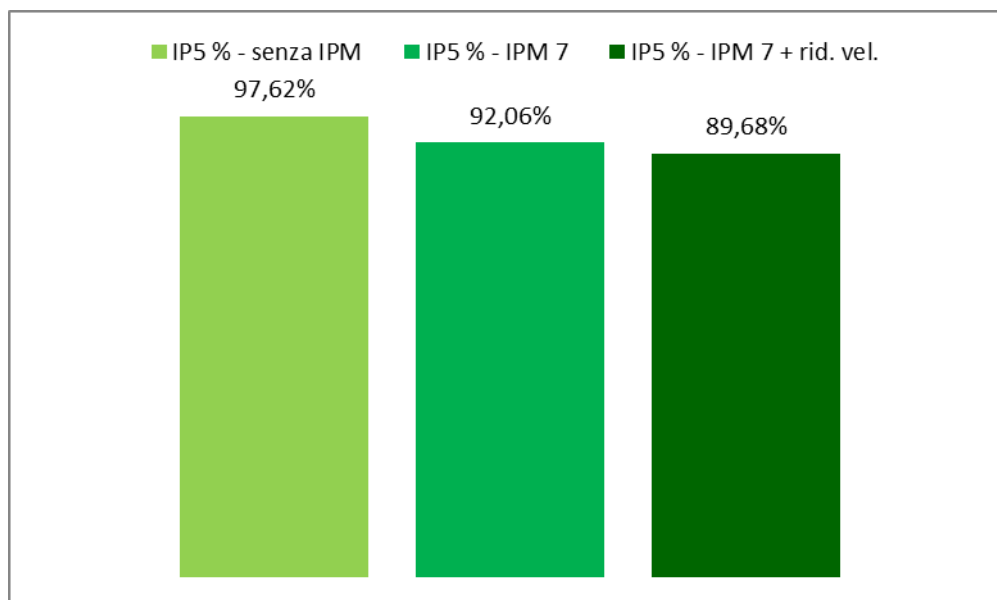


Grafico 11-76: Confronto fra gli IP5' nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 7 e con l' interruzione programmata 7 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

L'impianto di Malpensa Aeroporto

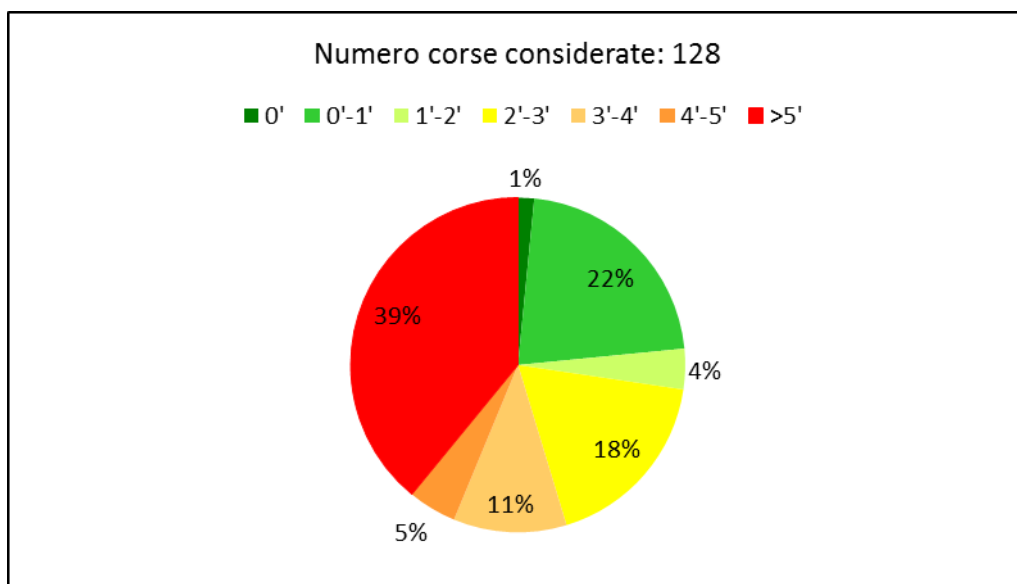


Grafico 11-77: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 7.

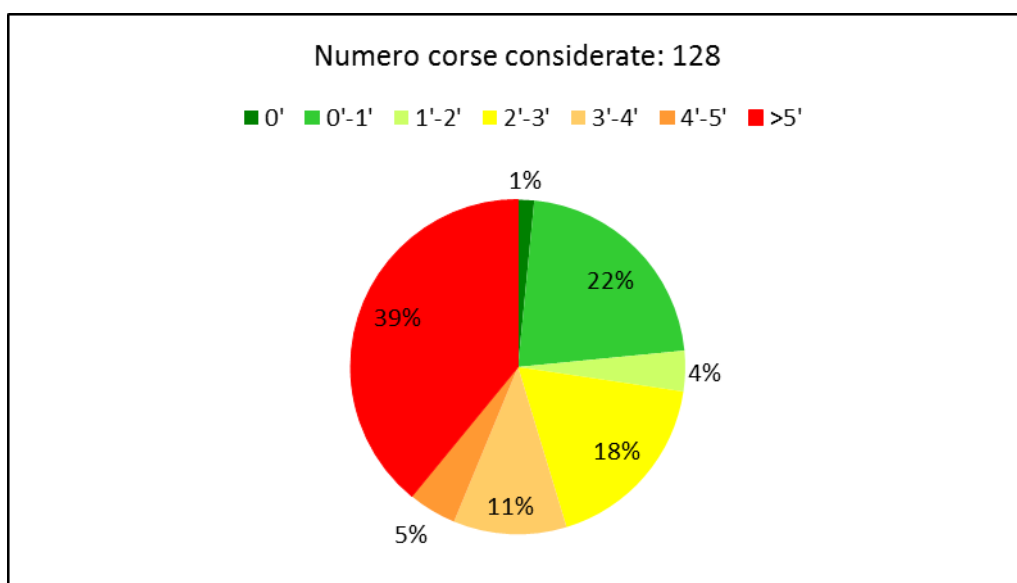


Grafico 11-78: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 7 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

3 ottobre 2013

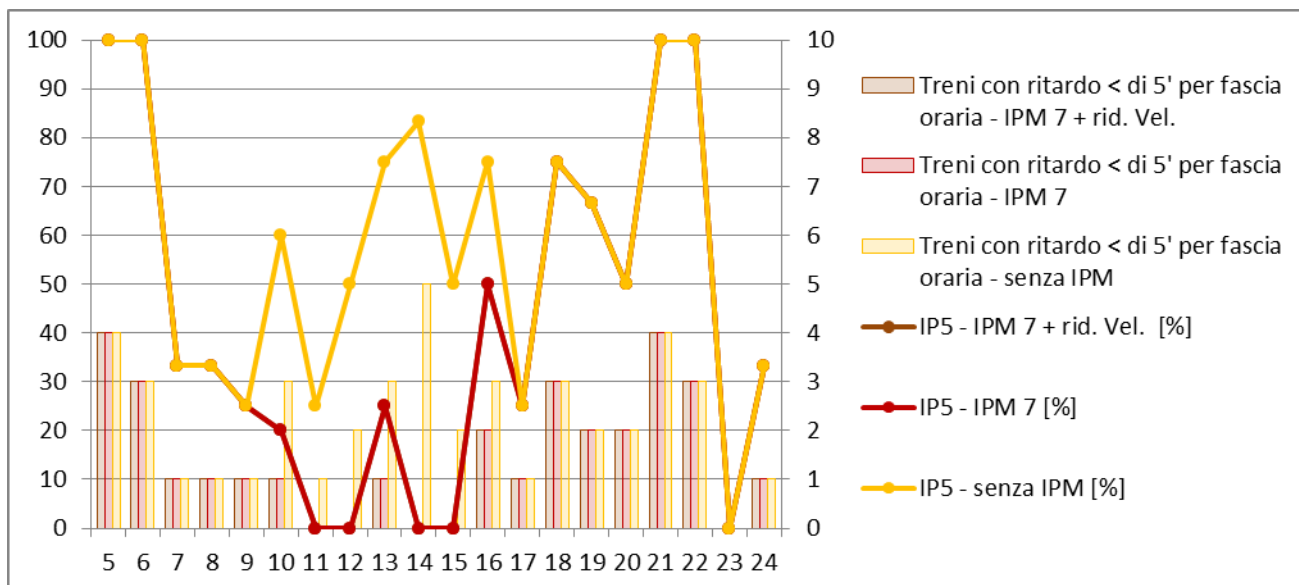


Grafico 11-79: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli *IP5' h* nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 7 e con l' interruzione programmata 7 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione dispari nell'impianto di Malpensa Aeroporto, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 7 e con l' interruzione programmata 7 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

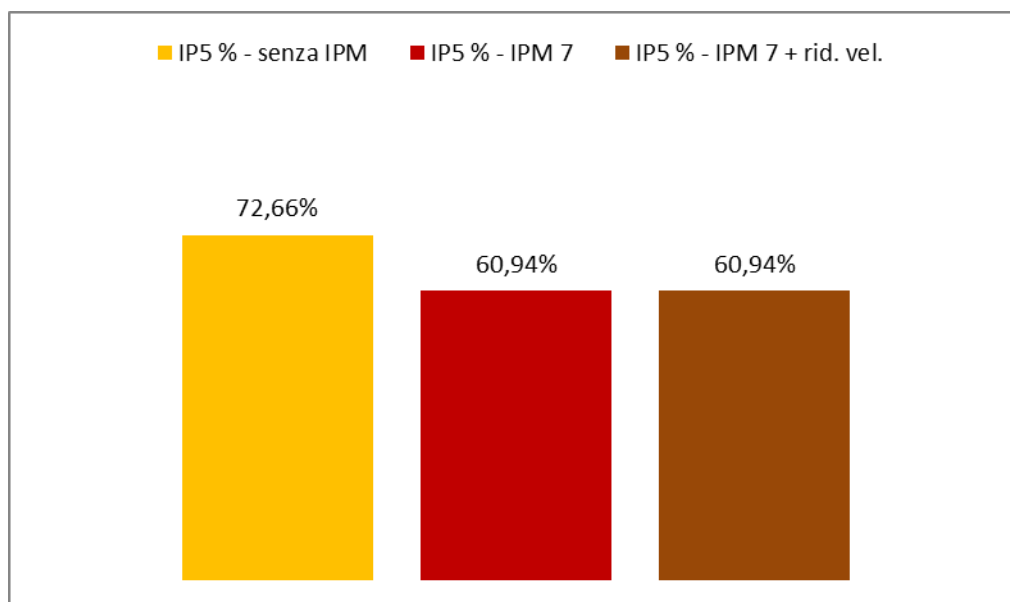


Grafico 11-80: Confronto fra gli *IP5'* nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 7 e con l' interruzione programmata 7 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

Allegato 11: Grafici di analisi dei ritardi e dell'IP5 con IPM 8

L'impianto di Saronno

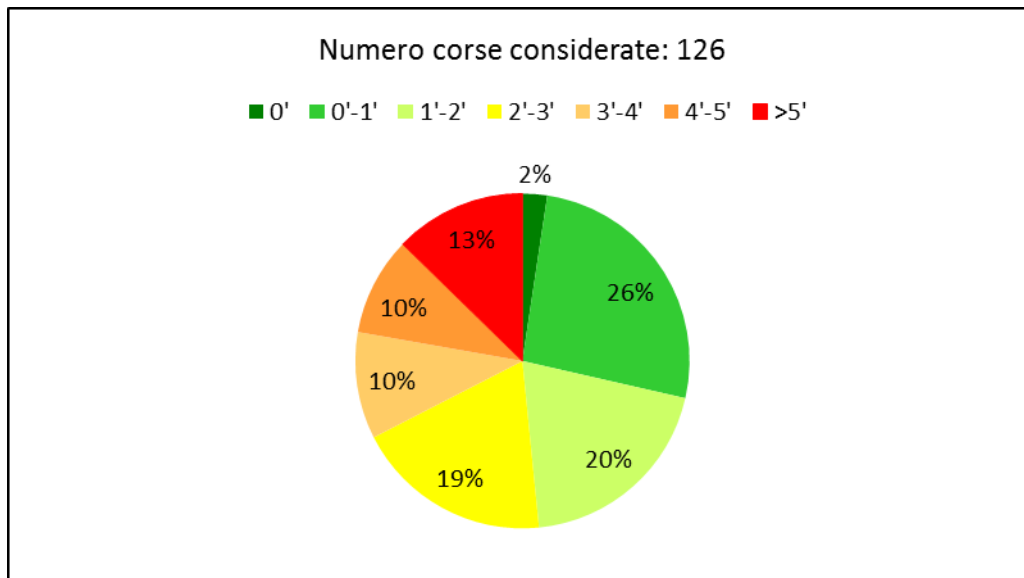


Grafico 11-81: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 8.

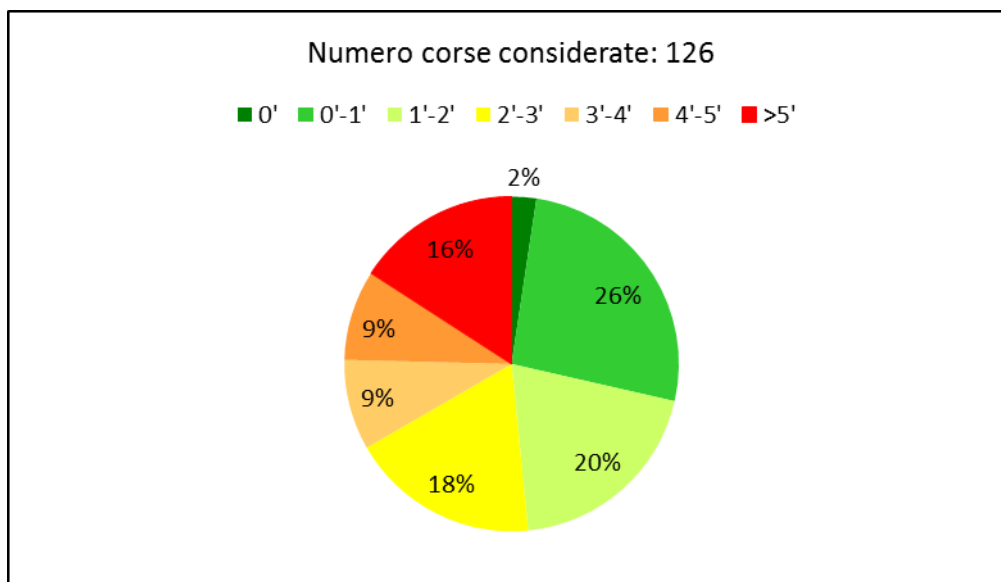


Grafico 11-82: Rappresentazione delle percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 8 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

3 ottobre 2013

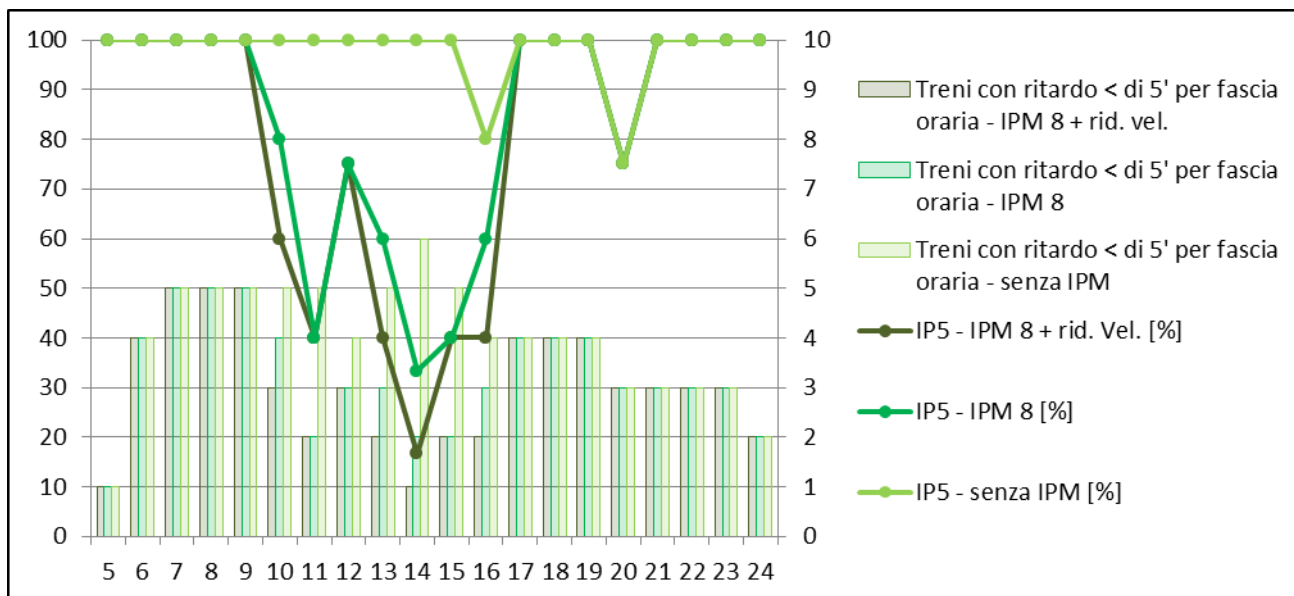


Grafico 11-83: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli IP5' h nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 8 e con l' interruzione programmata 8 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione pari nell'impianto di Saronno, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 8 e con l' interruzione programmata 8 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

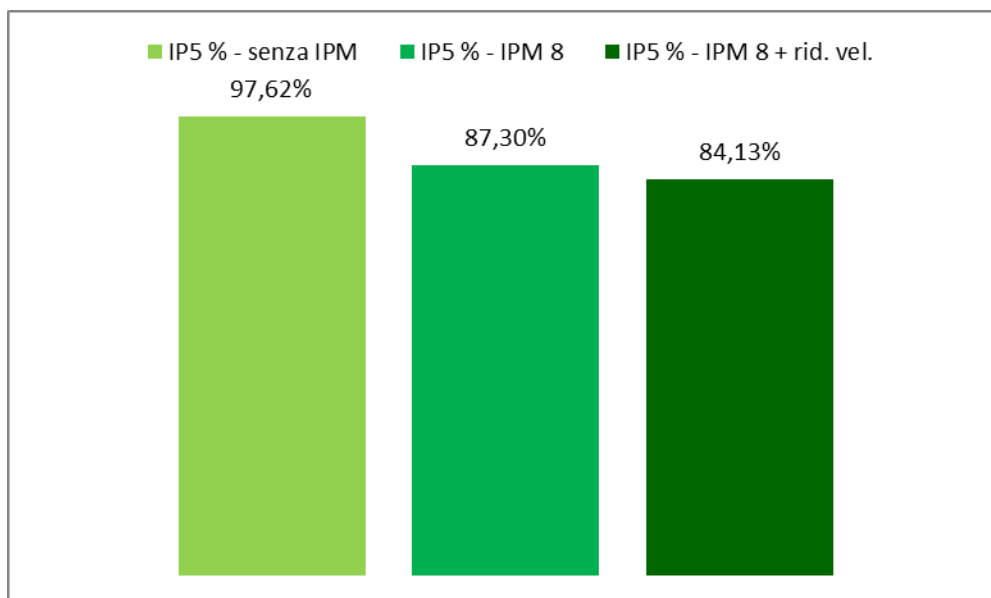


Grafico 11-84: Confronto fra gli IP5' nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 8 e con l' interruzione programmata 8 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

L'impianto di Malpensa Aeroporto

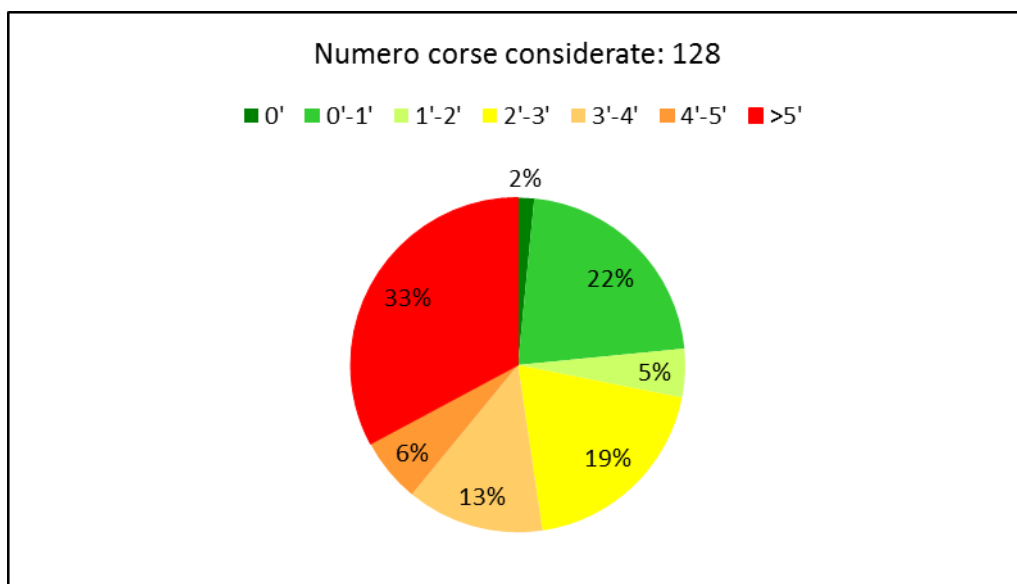


Grafico 11-85: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 8.

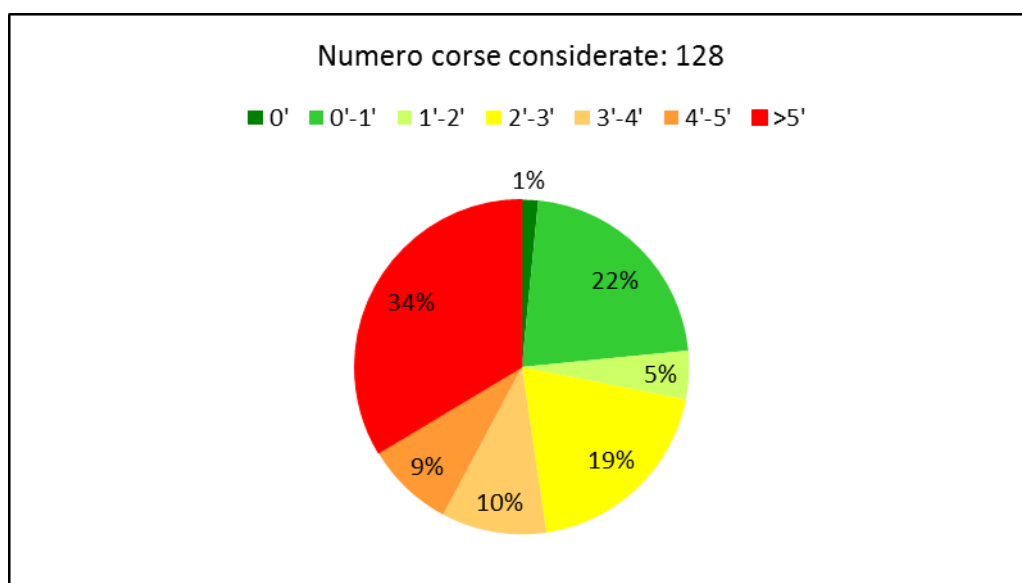


Grafico 11-86: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 8 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

3 ottobre 2013

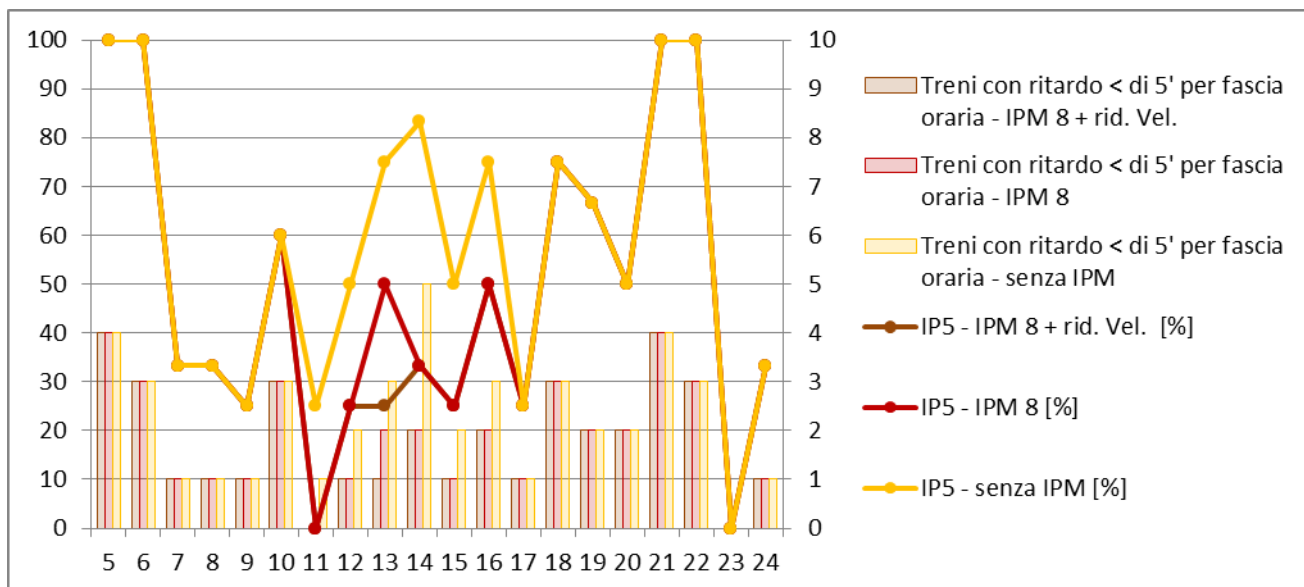


Grafico 11-87: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli *IP5' h* nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 8 e con l' interruzione programmata 8 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione dispari nell'impianto di Malpensa Aeroporto, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 8 e con l' interruzione programmata 8 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

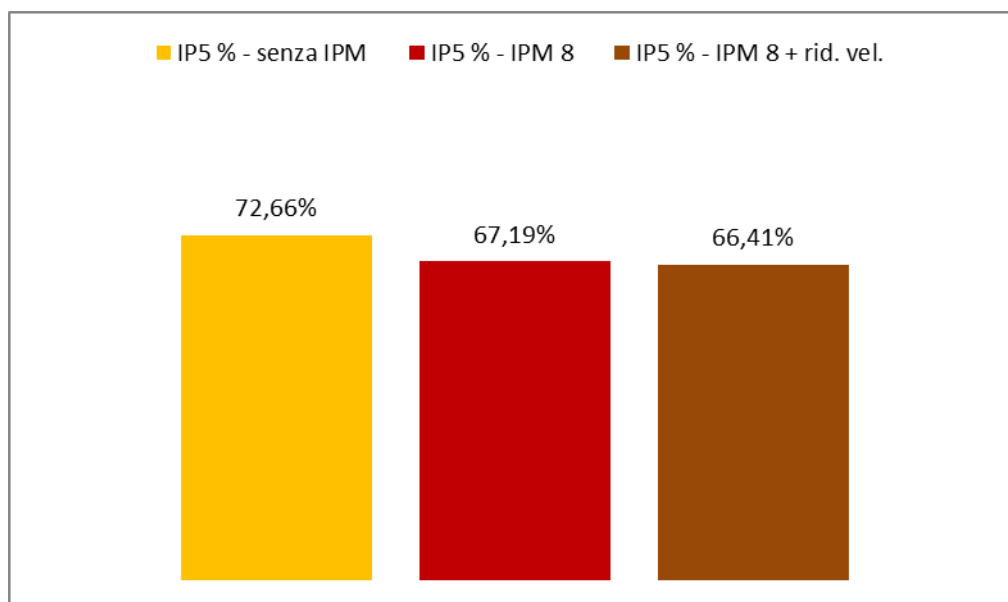


Grafico 11-88: Confronto fra gli *IP5'* nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 8 e con l' interruzione programmata 8 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

Allegato 12: Grafici di analisi dei ritardi e dell'IP5 con IPM 9

L'impianto di Saronno

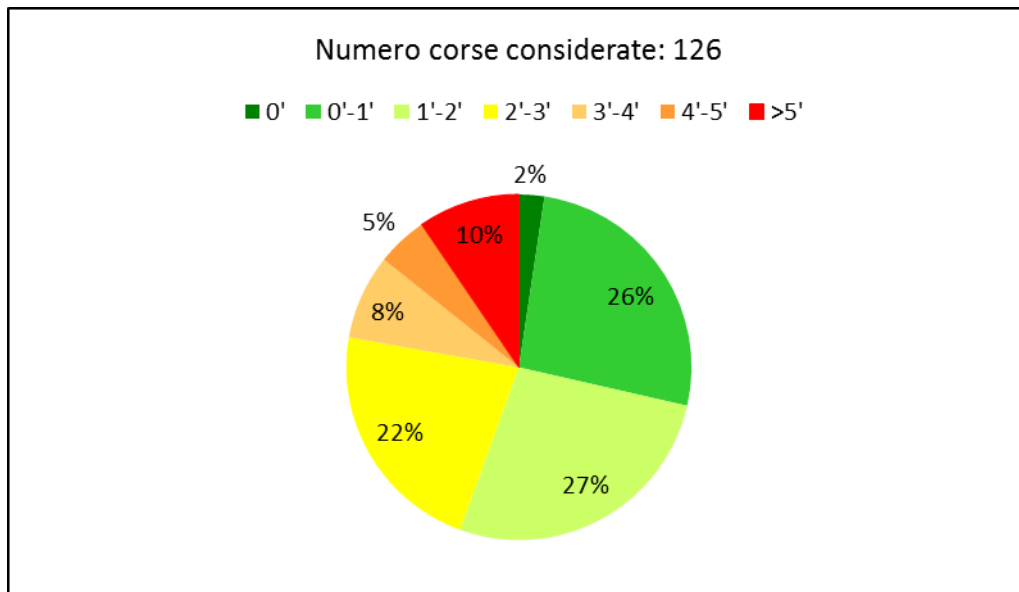


Grafico 11-89: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 9.

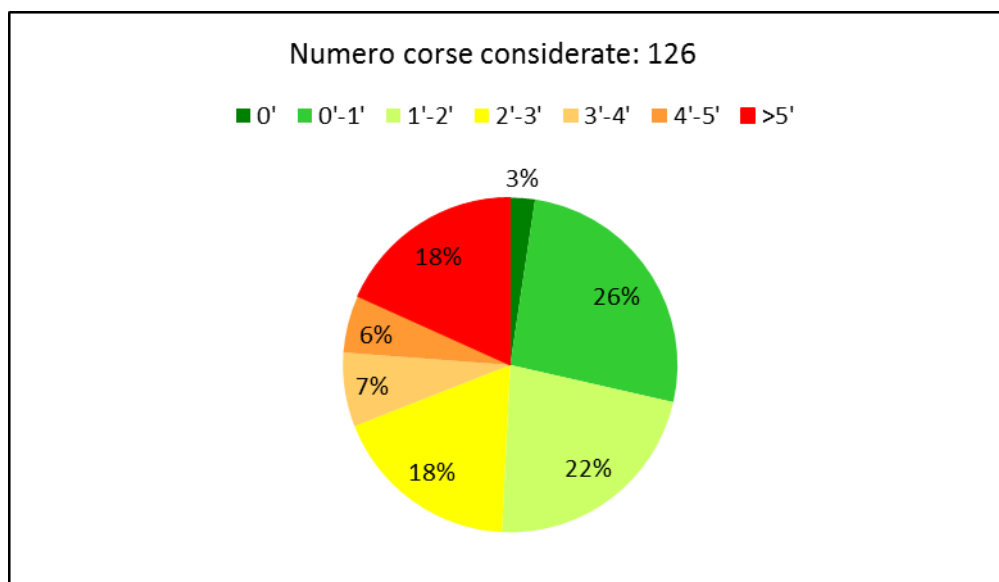


Grafico 11-90: Rappresentazione delle percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 9 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

3 ottobre 2013

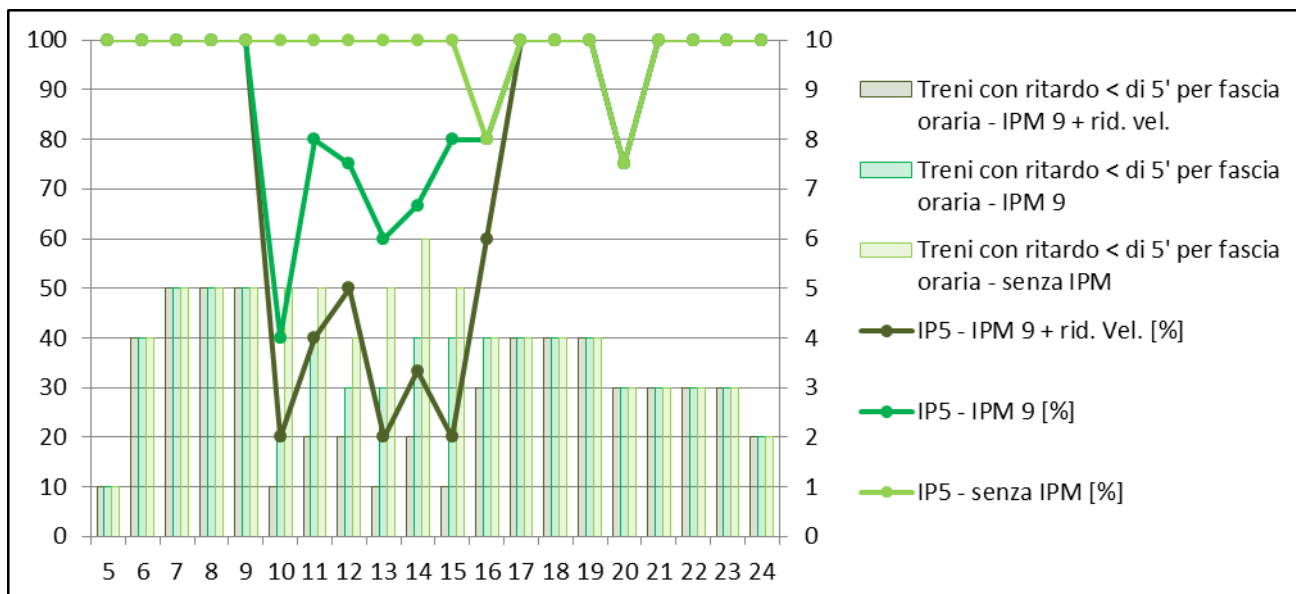


Grafico 11-91: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli *IP5' h* nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 9 e con l' interruzione programmata 9 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione pari nell'impianto di Saronno, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 9 e con l' interruzione programmata 9 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

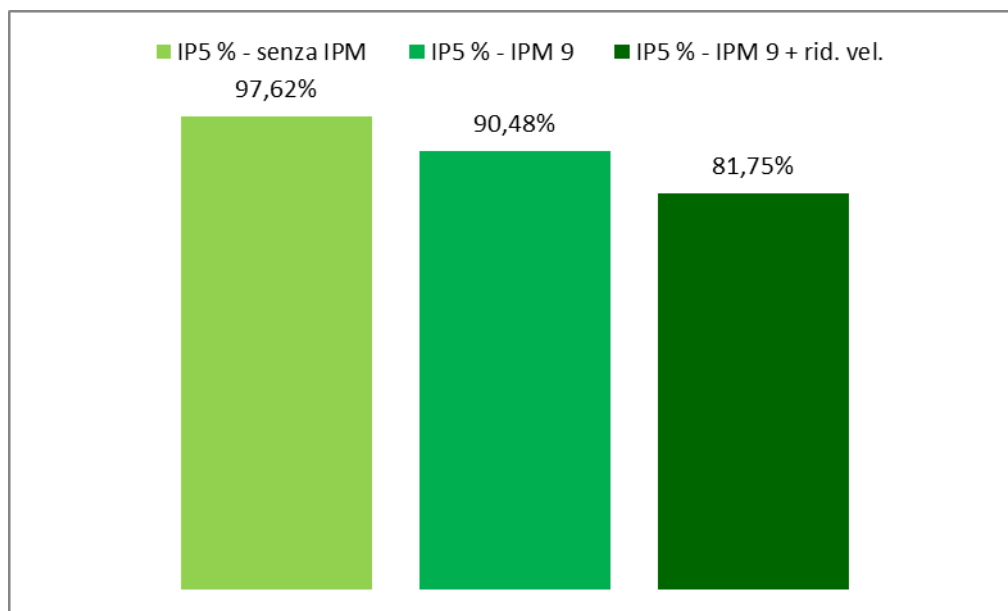


Grafico 11-92: Confronto fra gli *IP5'* nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 9 e con l' interruzione programmata 9 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

L'impianto di Malpensa Aeroporto

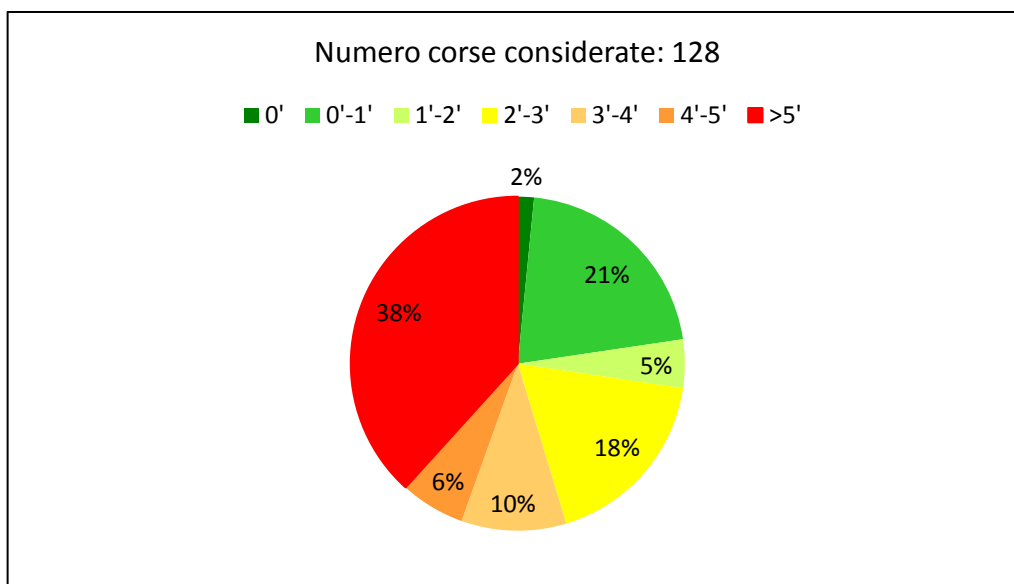


Grafico 11-93: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 9.

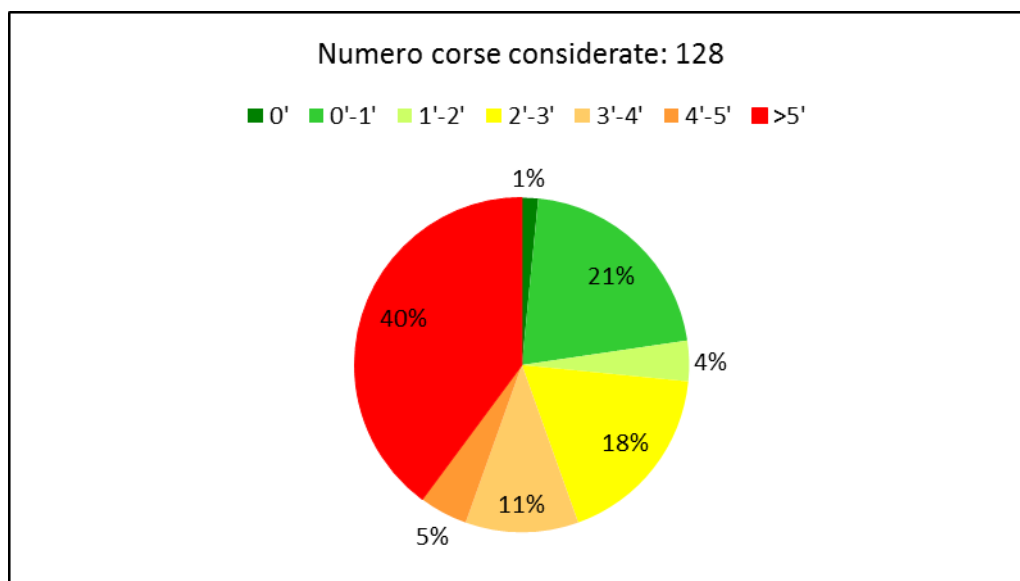


Grafico 11-94: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 9 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

3 ottobre 2013

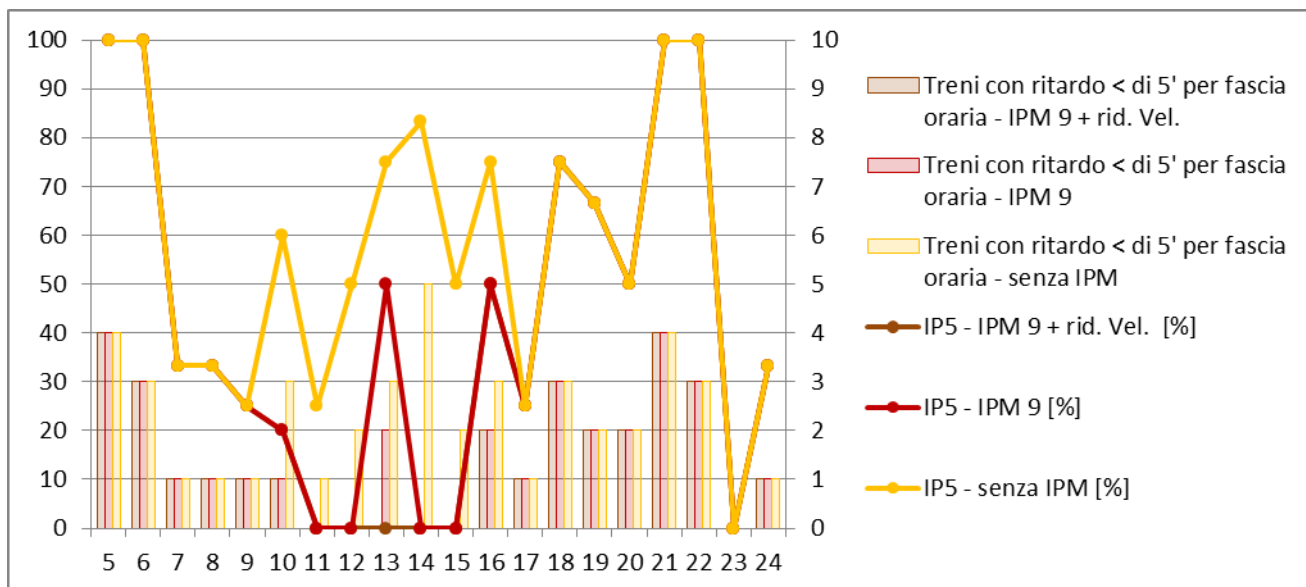


Grafico 11-95: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli *IP5' h* nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 9 e con l' interruzione programmata 9 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione dispari nell'impianto di Malpensa Aeroporto, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 9 e con l' interruzione programmata 9 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

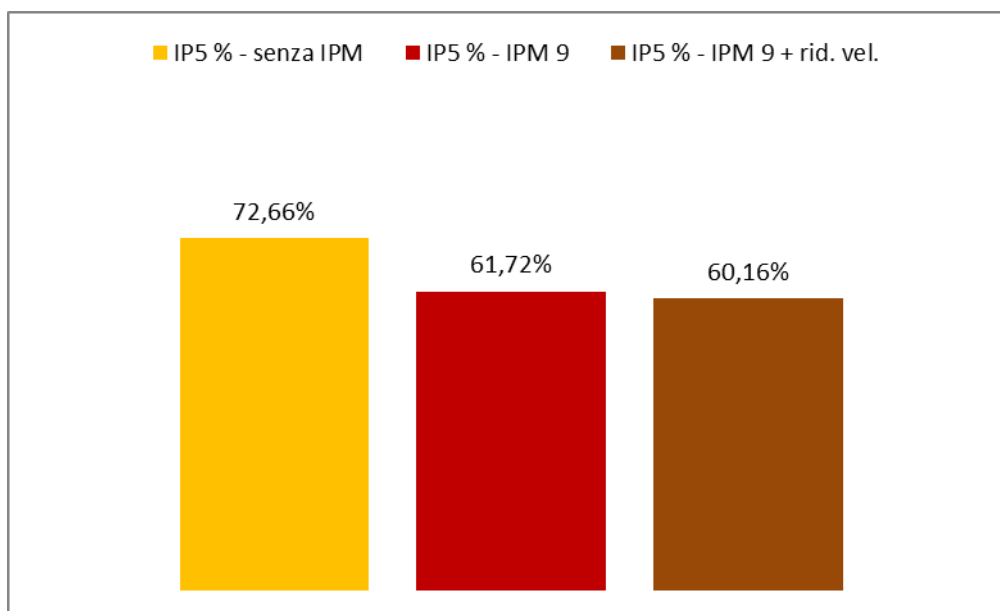


Grafico 11-96: Confronto fra gli *IP5'* nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 9 e con l' interruzione programmata 9 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

Allegato 13: Grafici di analisi dei ritardi e dell'IP5 con IPM 10

L'impianto di Saronno

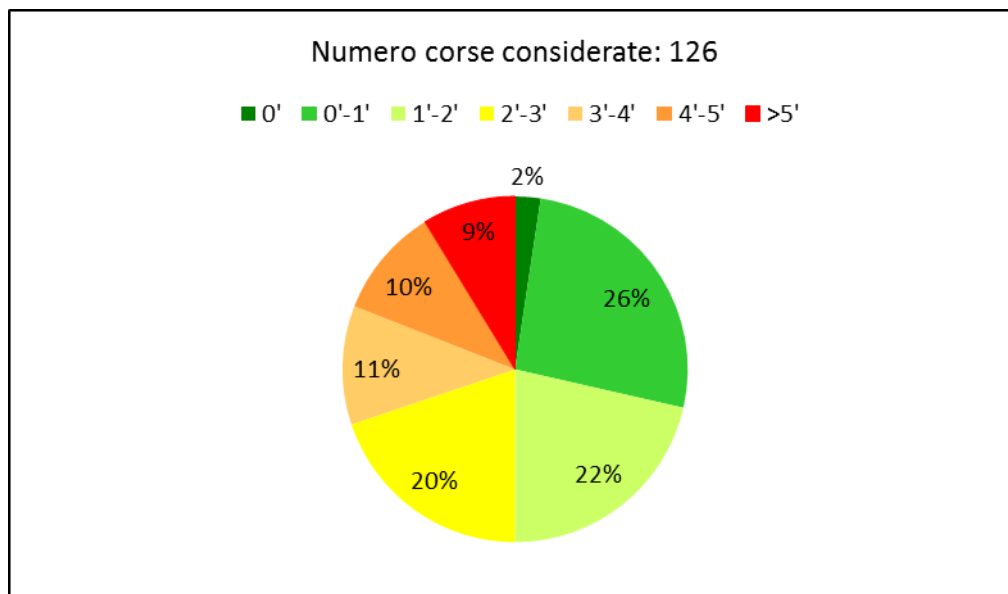


Grafico 11-97: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 10.

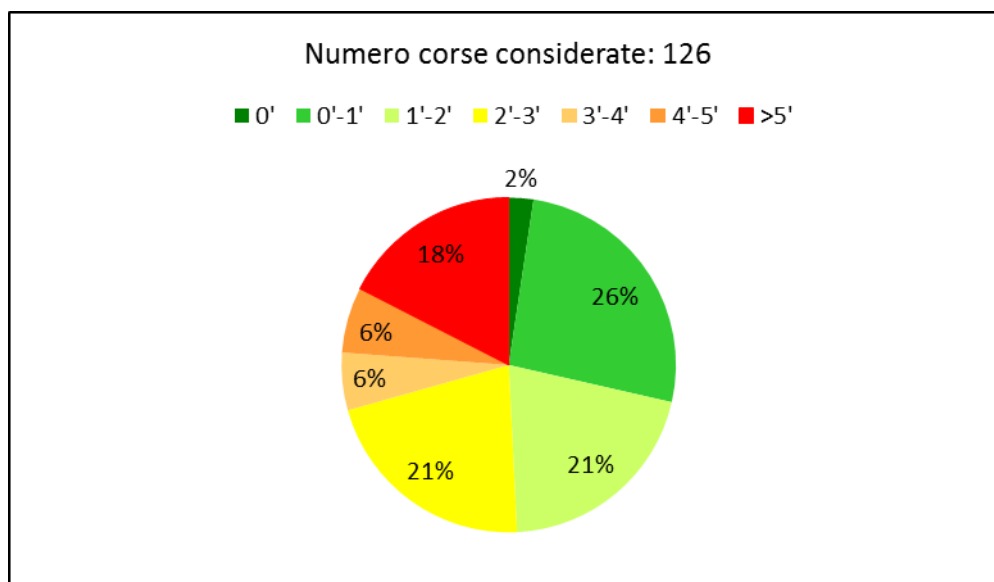


Grafico 11-98: Rappresentazione delle percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 10 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

3 ottobre 2013

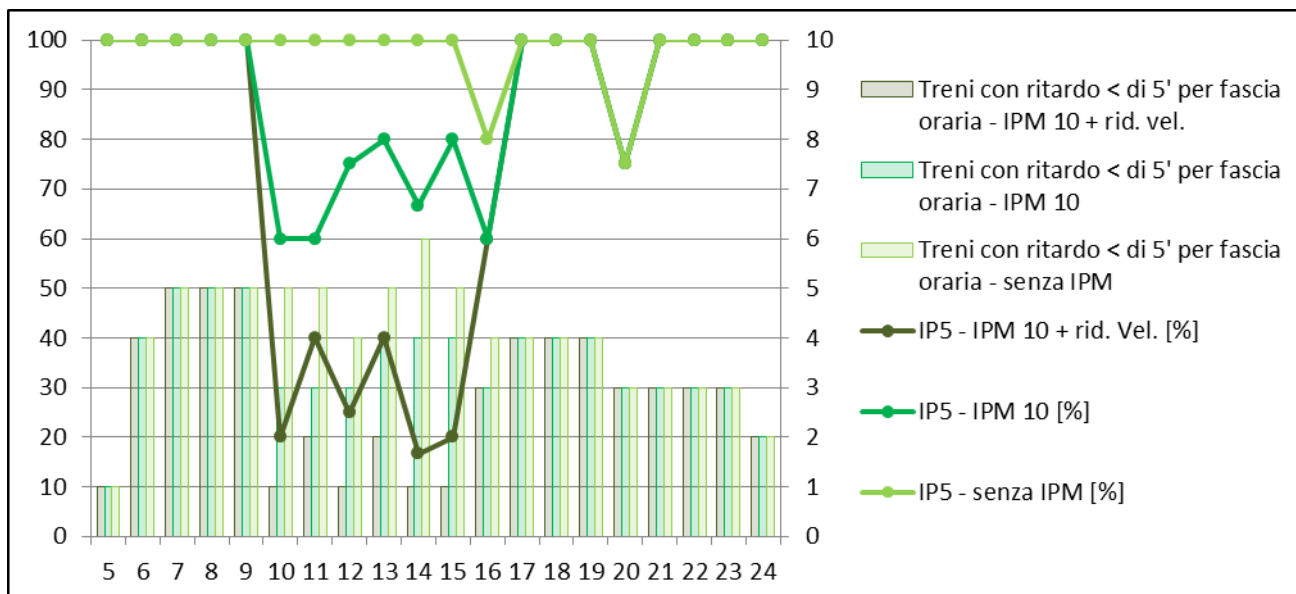


Grafico 11-99: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli *IP5' h* nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 10 e con l'interruzione programmata 10 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione pari nell'impianto di Saronno, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 10 e con l'interruzione programmata 10 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

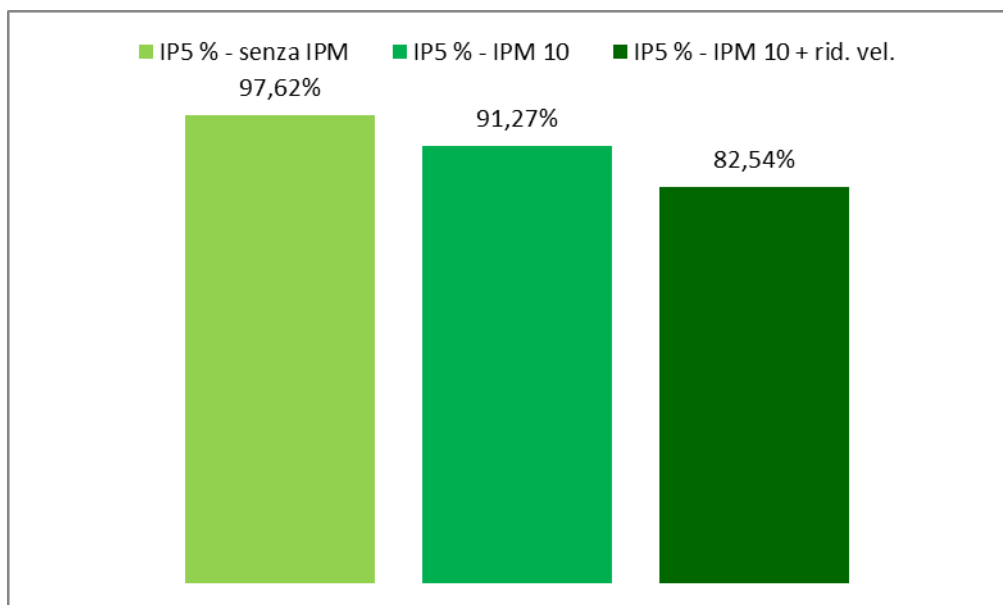


Grafico 11-100: Confronto fra gli *IP5'* nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 10 e con l'interruzione programmata 10 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

L'impianto di Malpensa Aeroporto

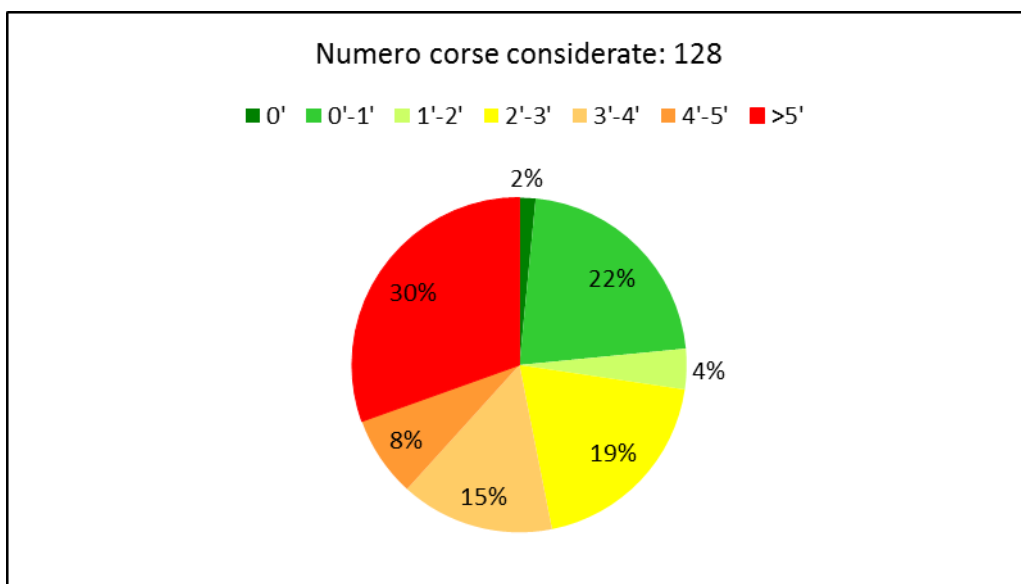


Grafico 11-101: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 10.

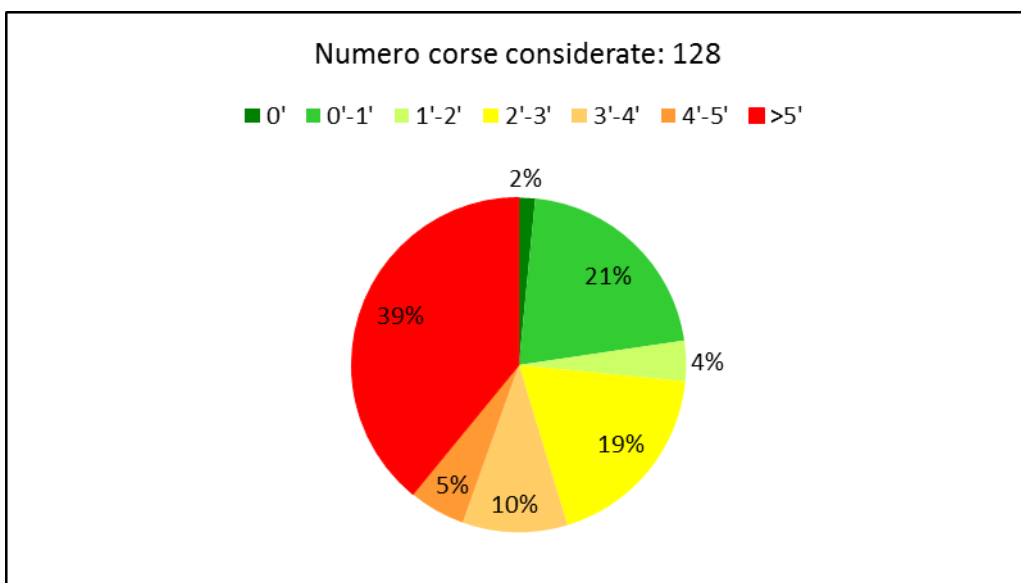


Grafico 11-102: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 10 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

3 ottobre 2013

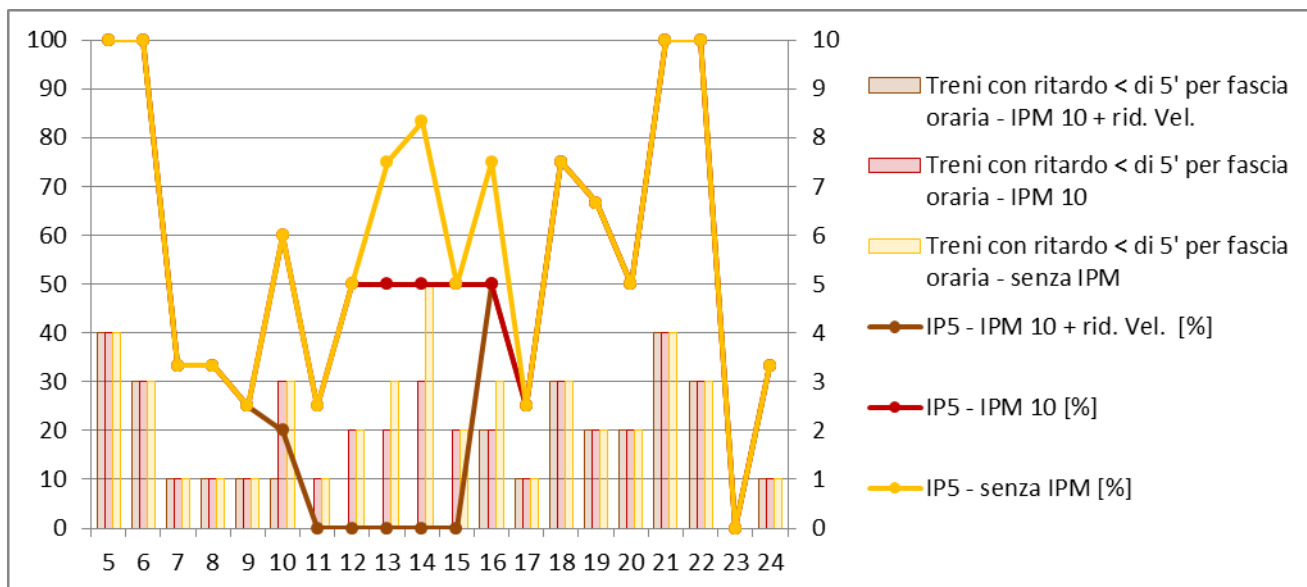


Grafico 11-103: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli *IP5' h* nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 10 e con l' interruzione programmata 10 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione dispari nell'impianto di Malpensa Aeroporto, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 10 e con l' interruzione programmata 10 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

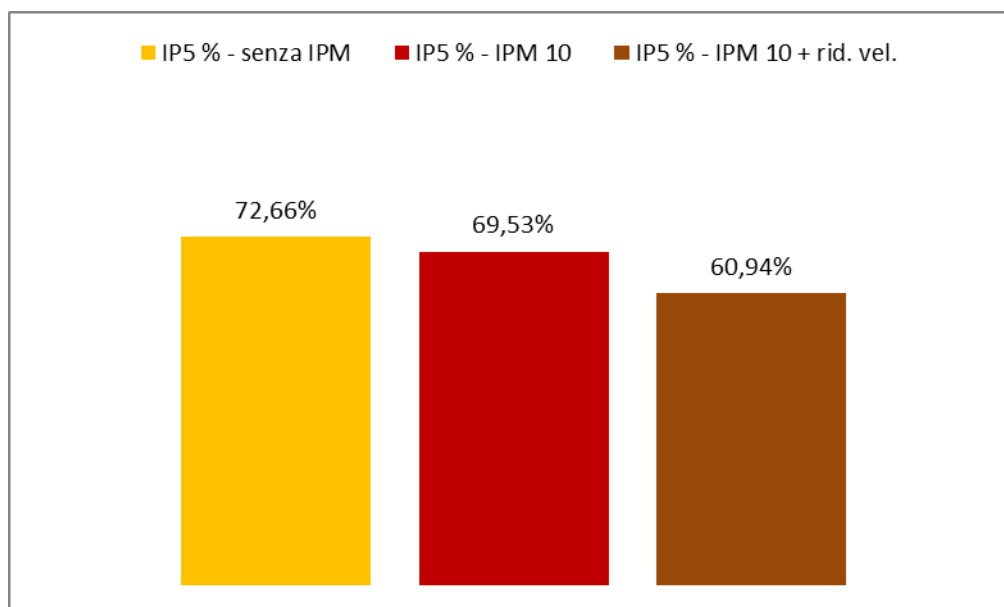


Grafico 11-104: Confronto fra gli *IP5' h* nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 10 e con l' interruzione programmata 10 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

Allegato 14: Grafici di analisi dei ritardi e dell'IP5 con IPM 11

L'impianto di Saronno

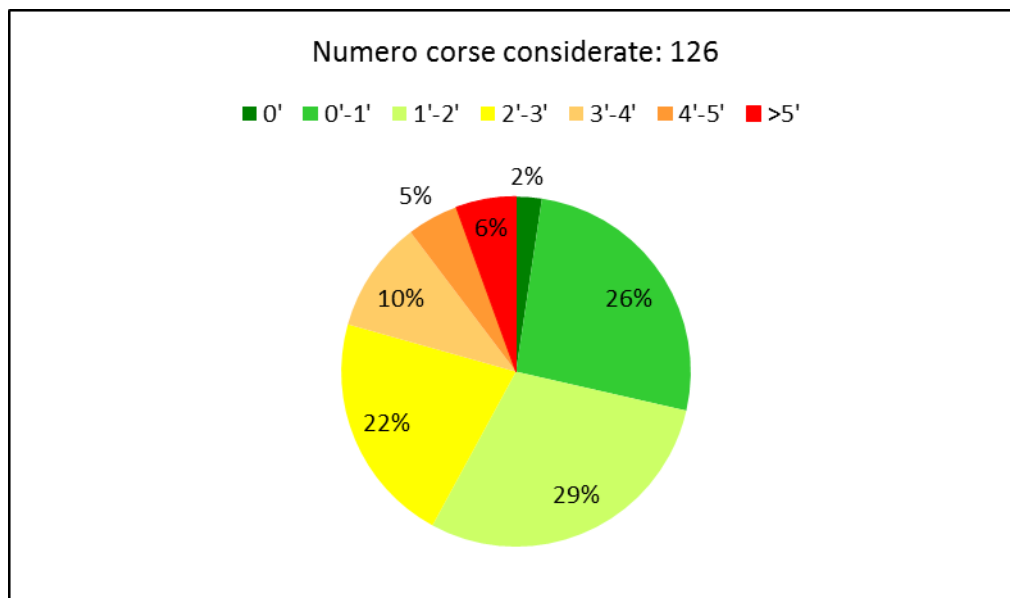


Grafico 11-105: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 11.

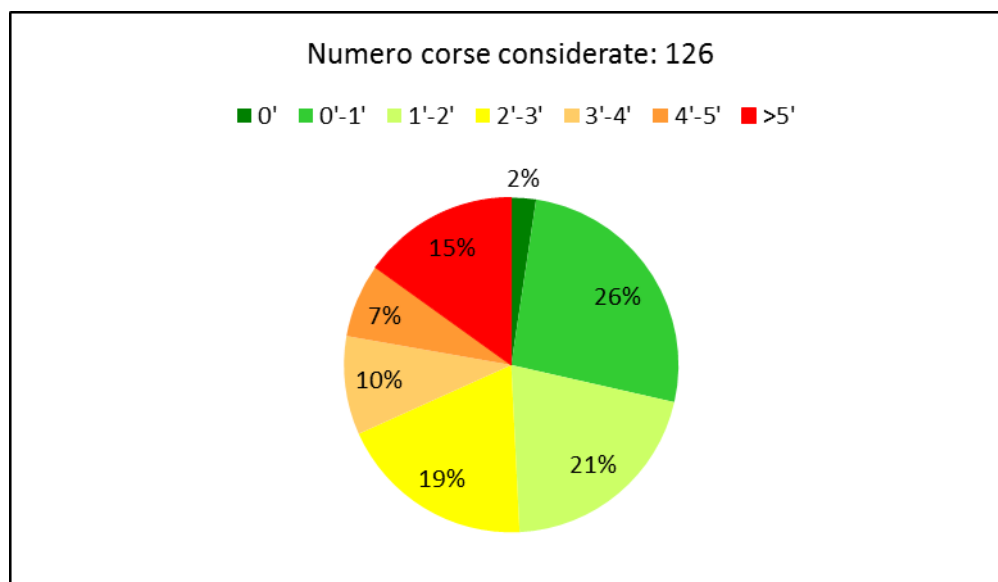


Grafico 11-106: Rappresentazione delle percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 11 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

3 ottobre 2013

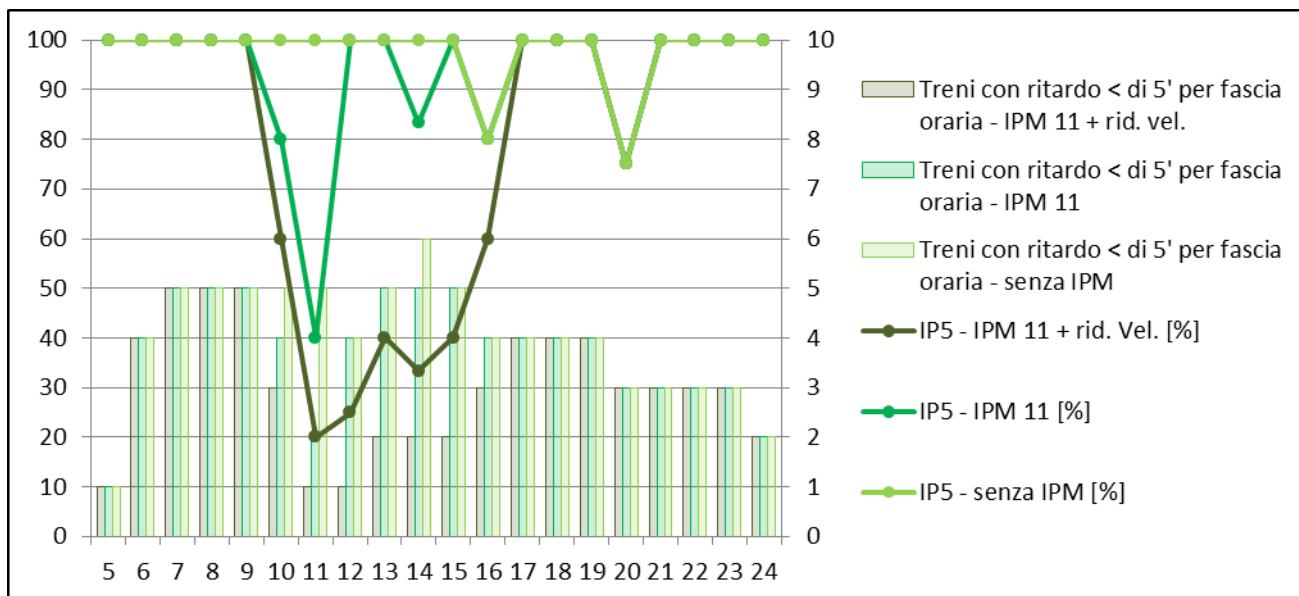


Grafico 11-107: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli *IP5' h* nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 11 e con l'interruzione programmata 11 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione pari nell'impianto di Saronno, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 11 e con l'interruzione programmata 11 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

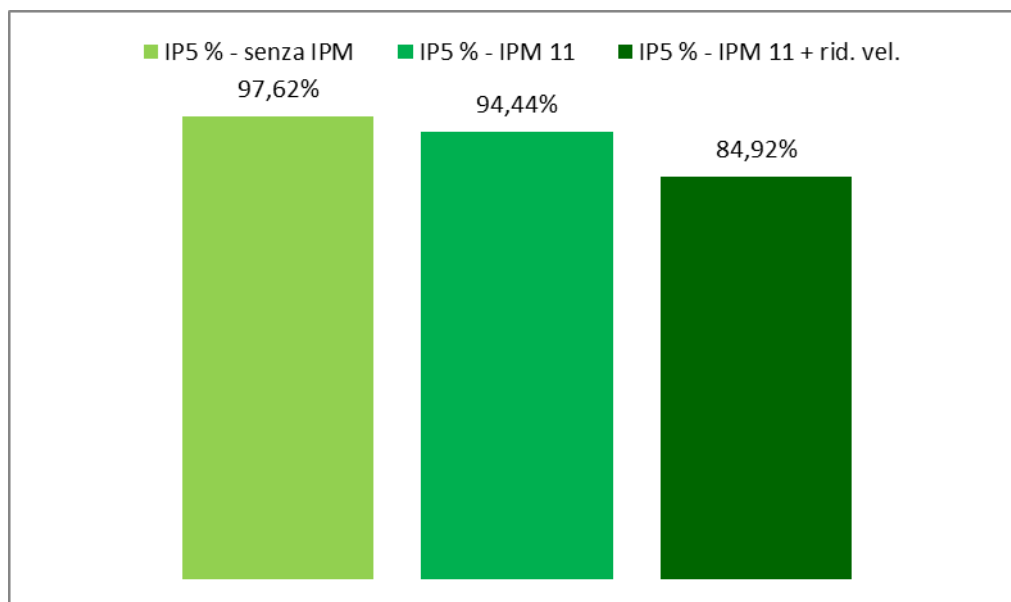


Grafico 11-108: Confronto fra gli *IP5' h* nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 11 e con l'interruzione programmata 11 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

L'impianto di Malpensa Aeroporto

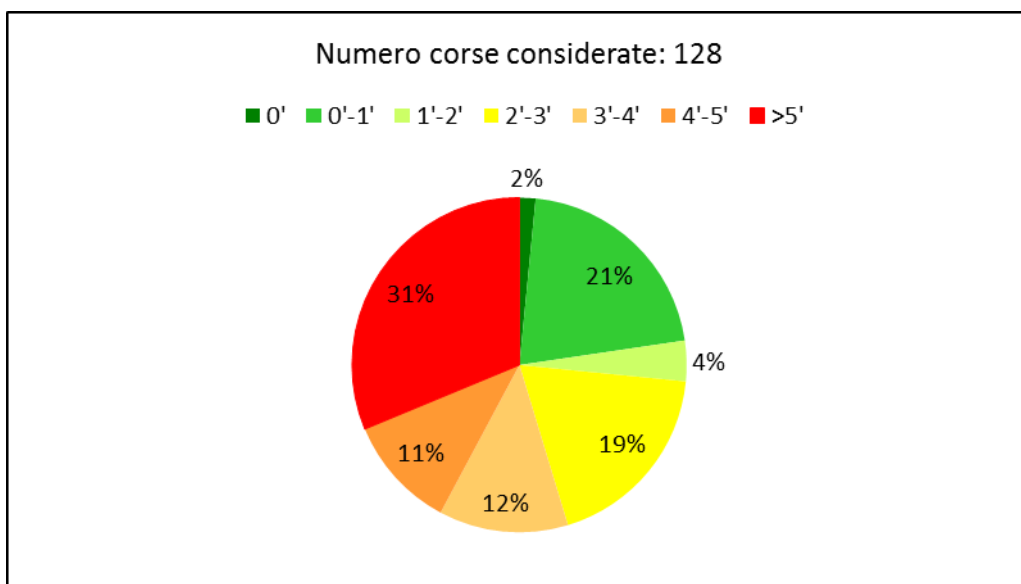


Grafico 11-109: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 11.

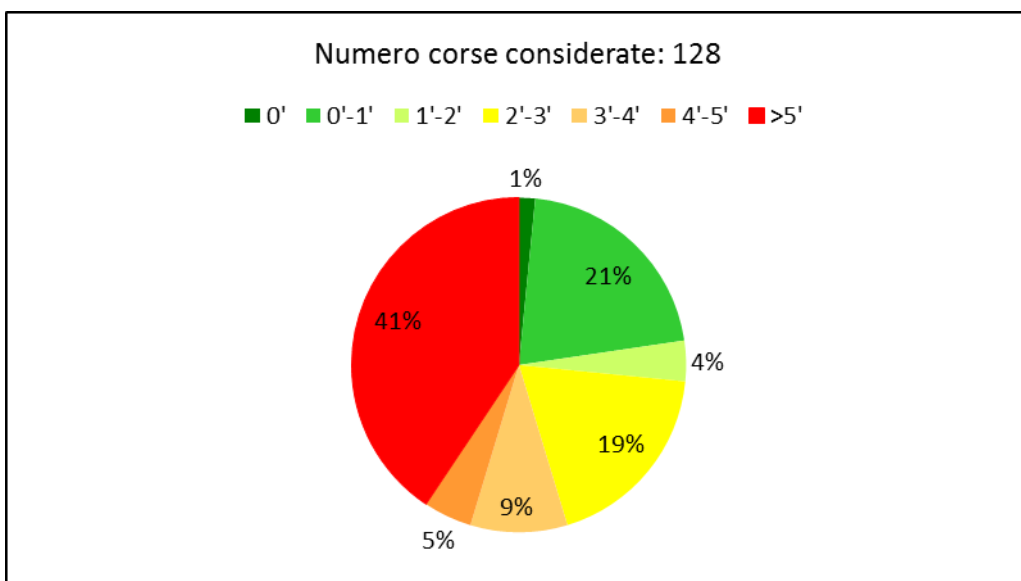


Grafico 11-110: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 11 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

3 ottobre 2013

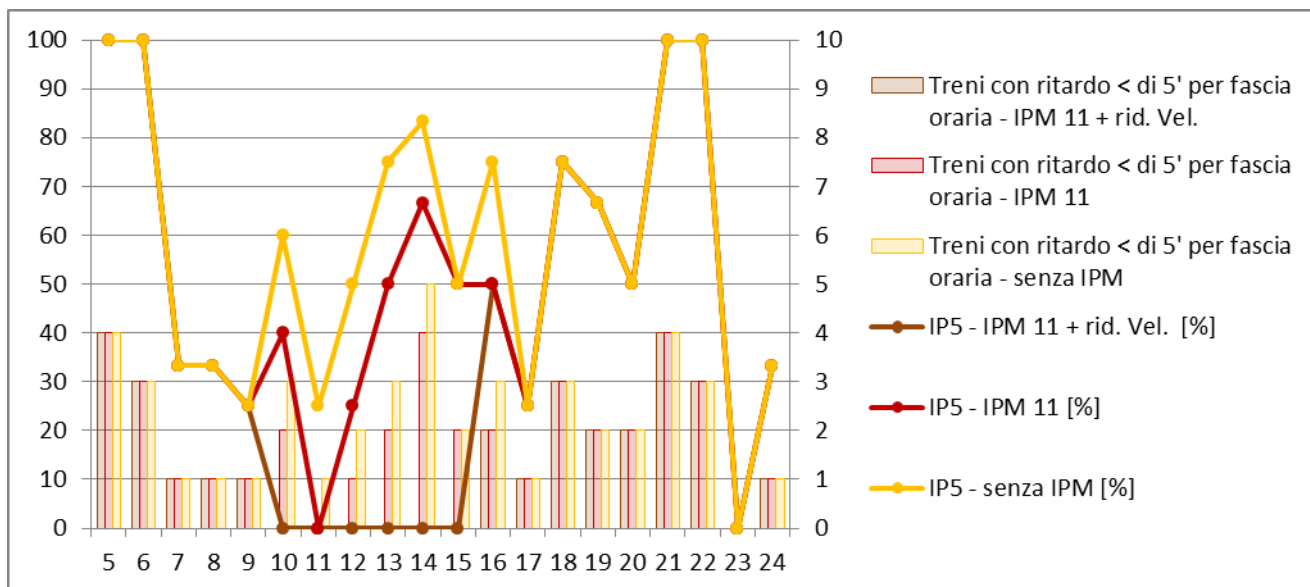


Grafico 11-111: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli IP5' h nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 11 e con l' interruzione programmata 11 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione dispari nell'impianto di Malpensa Aeroporto, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 11 e con l' interruzione programmata 11 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

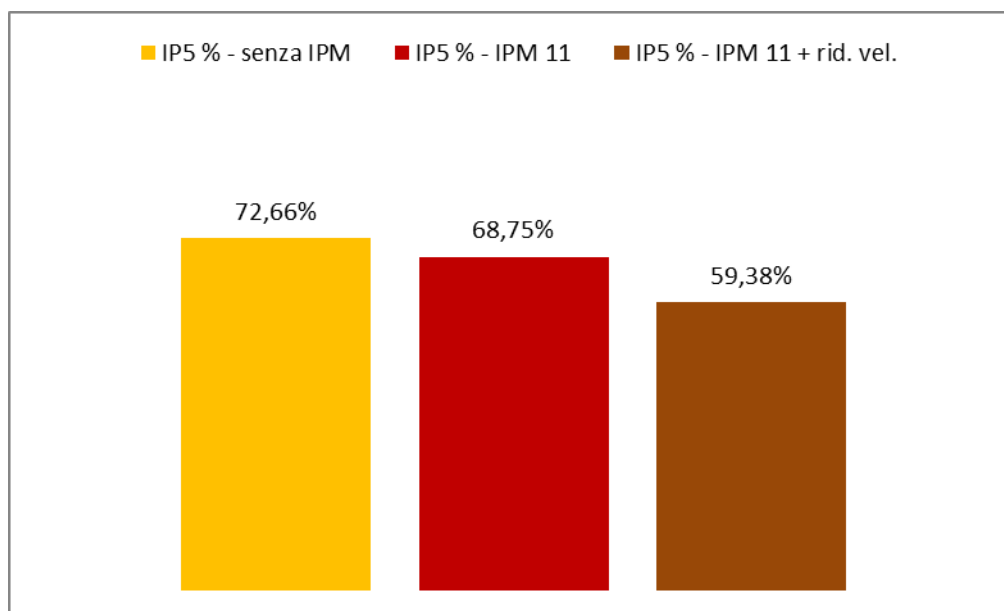


Grafico 11-112: Confronto fra gli IP5' nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 11 e con l' interruzione programmata 11 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

Allegato 15: Grafici di analisi dei ritardi e dell'IP5 con IPM 12

L'impianto di Saronno

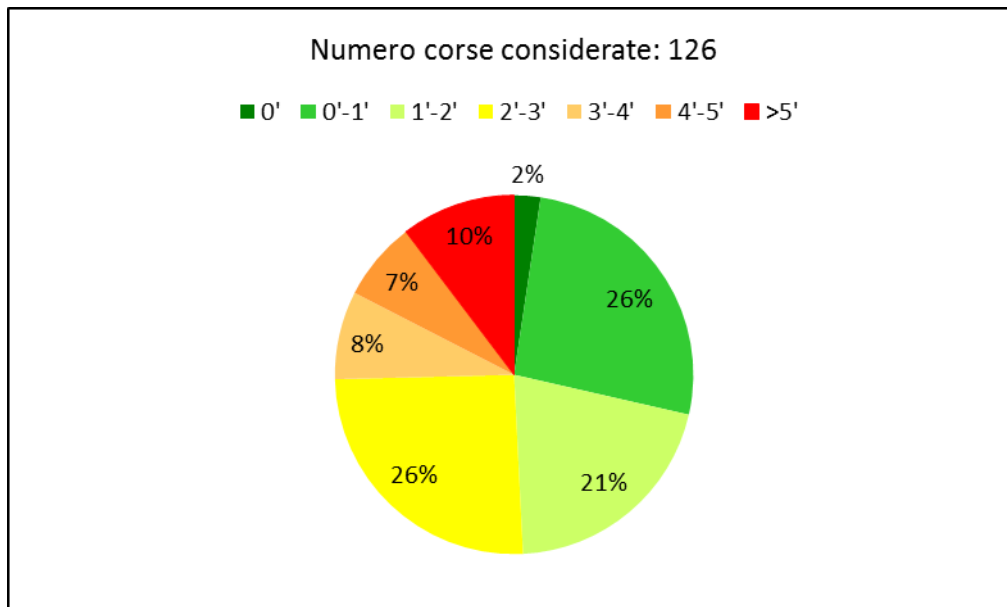


Grafico 11-113: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 12.

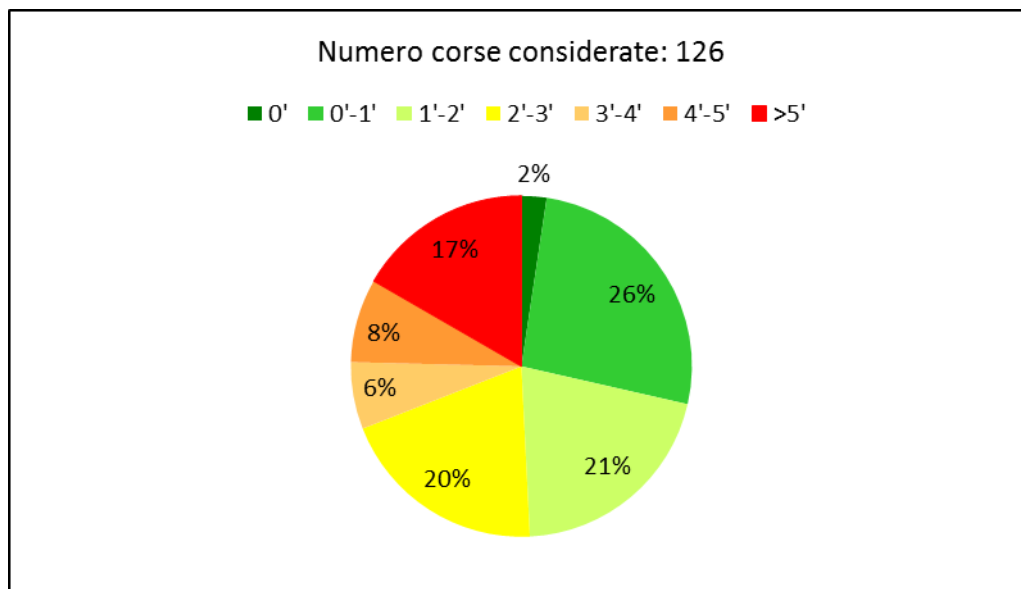


Grafico 11-114: Rappresentazione delle percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Saronno con numerazione pari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 12 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

3 ottobre 2013

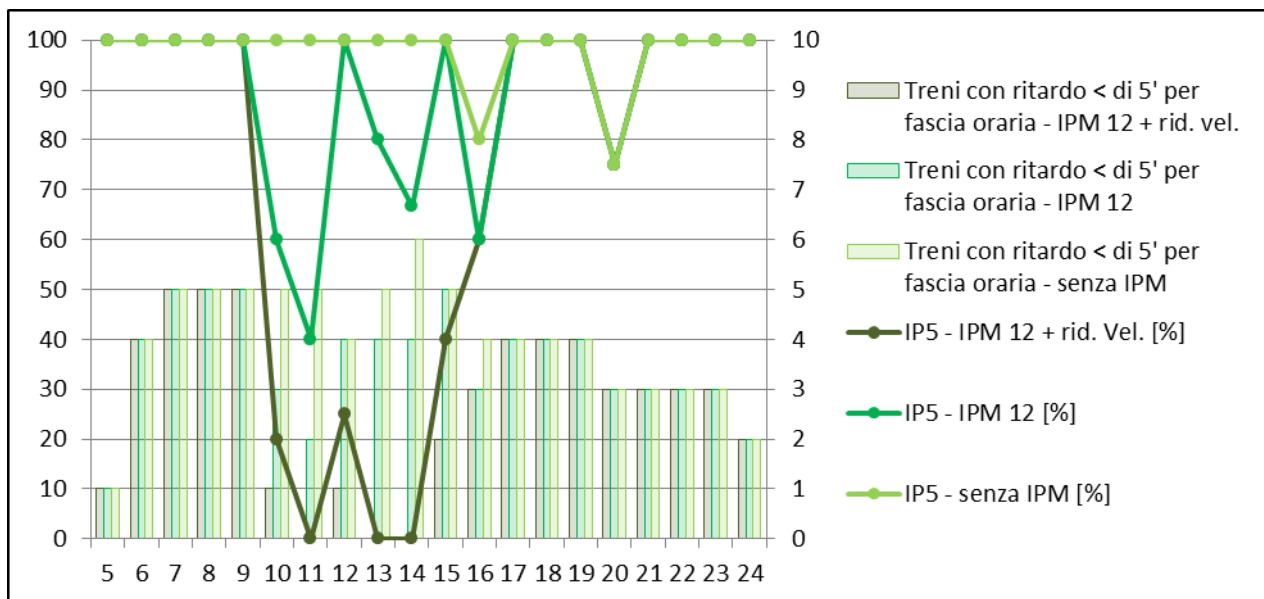


Grafico 11-115: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli *IP5' h* nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 12 e con l'interruzione programmata 12 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione pari nell'impianto di Saronno, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 12 e con l'interruzione programmata 12 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

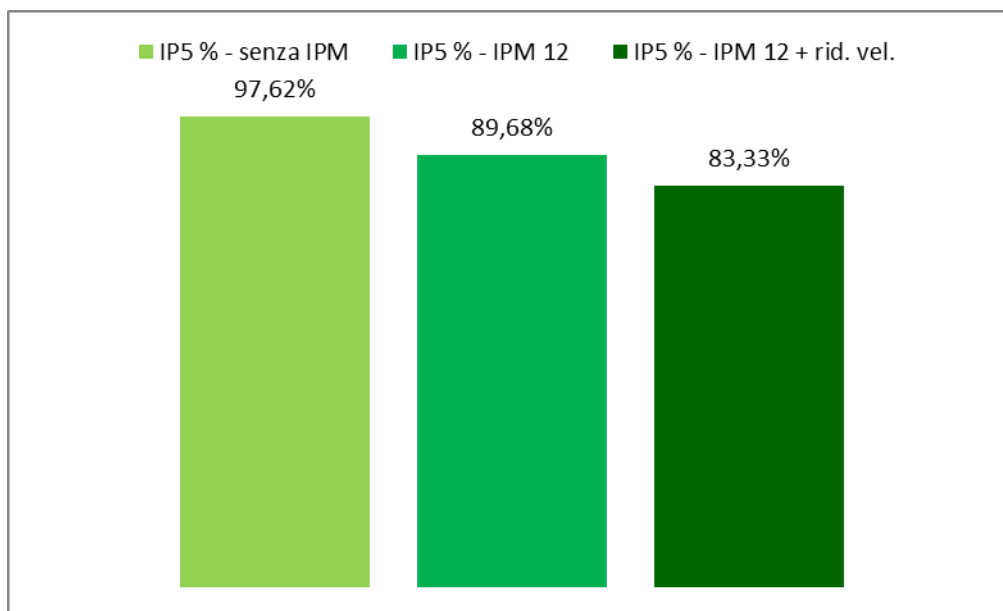


Grafico 11-116: Confronto fra gli *IP5'* nell'impianto di Saronno per i soli treni in arrivo con numerazione pari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 12 e con l'interruzione programmata 12 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

L'impianto di Malpensa Aeroporto

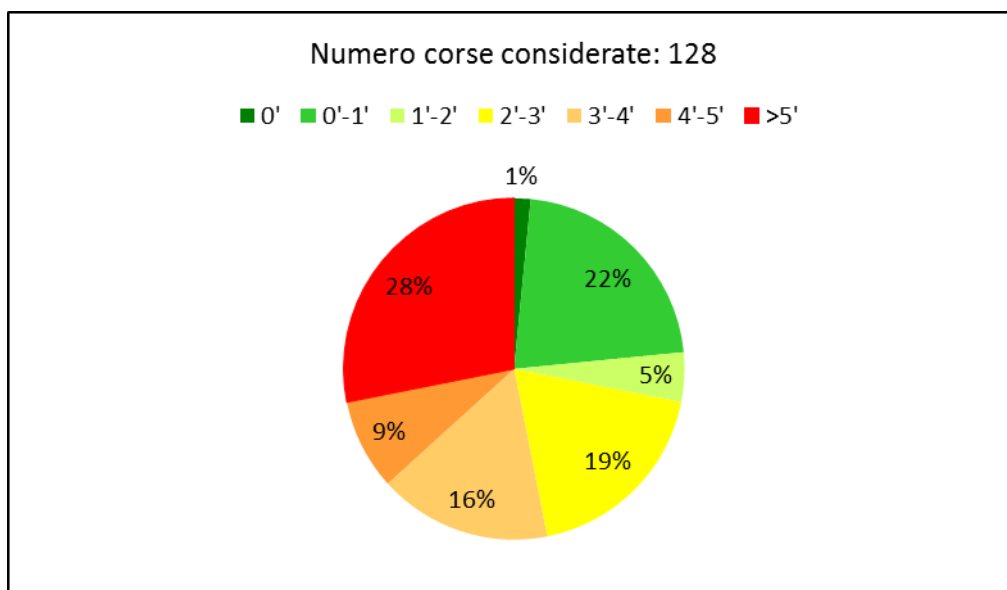


Grafico 11-117: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 12.

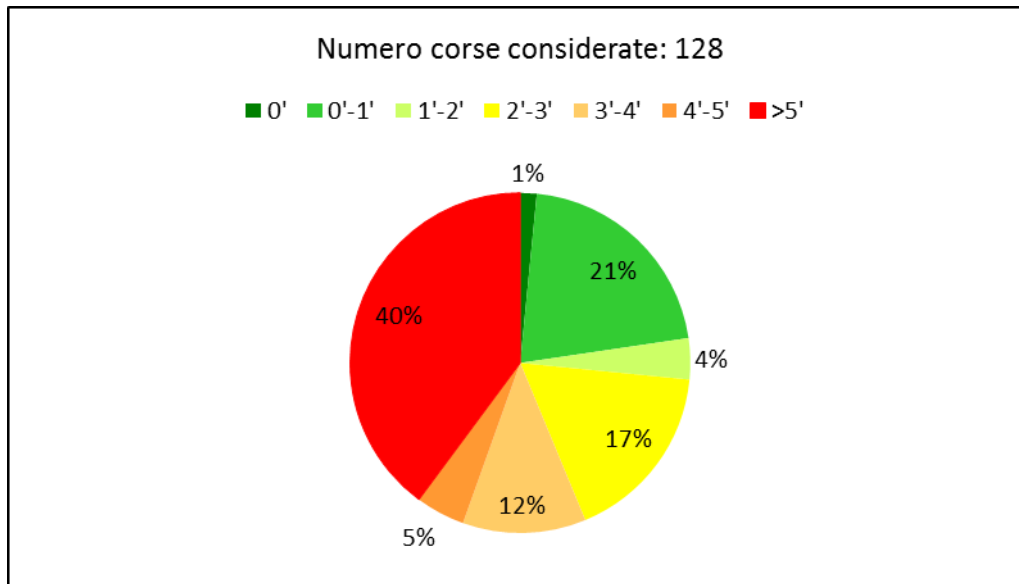


Grafico 11-118: Rappresentazione in percentuali sul totale dei treni in arrivo nell'impianto di Malpensa Aeroporto con numerazione dispari divisi per fascia di ritardo, quando è in vigore l'interruzione programmata 12 con riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

3 ottobre 2013

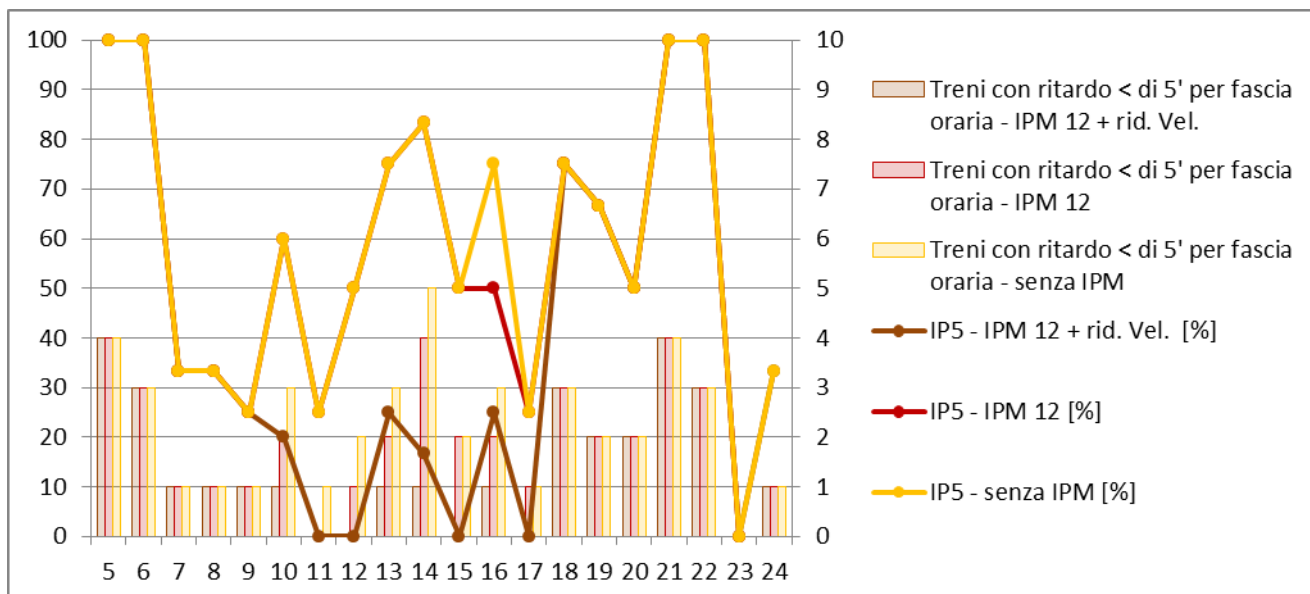


Grafico 11-119: In alto, il confronto fra gli andamenti durante la giornata degli *IP5' h* nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 12 e con l' interruzione programmata 12 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo. In basso, la rappresentazione attraverso istogrammi del numero di treni in arrivo con un ritardo inferiore a 5' con numerazione dispari nell'impianto di Malpensa Aeroporto, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 12 e con l' interruzione programmata 12 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

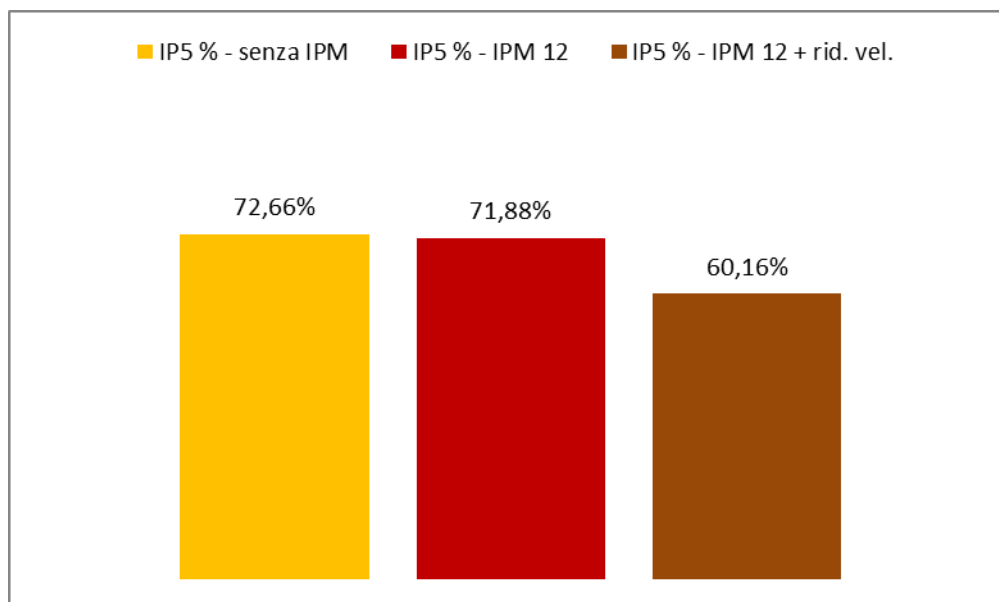


Grafico 11-120: Confronto fra gli *IP5'* nell'impianto di Malpensa Aeroporto per i soli treni in arrivo con numerazione dispari, senza interruzioni in linea, con la presenza dell'interruzione programmata 12 e con l' interruzione programmata 12 più la riduzione di velocità a 60 km/h sul binario attiguo.

