

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. PROGETTAZIONE FUNZIONALE ED ESERCIZIO

PROGETTO DEFINITIVO

COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO
CON LA STAZIONE DI BRINDISI

RELAZIONE TECNICA DI ESERCIZIO

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I A 7 K 0 0 D 1 6 R G E S 0 0 0 1 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Definitiva	A. Dicembre <i>A. Di...</i>	Dicembre 2019	<i>A. Vitali</i>	Dicembre 2019	T. Paoletti	Dicembre 2019	<i>Pierangelo Rivoli</i> Pierangelo Rivoli ROMA Dicembre 2019

RELAZIONE TECNICA DI ESERCIZIO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA7K	00	D 16 RG	ES 00 01 001	A	2 di 28

INDICE

1. PREMESSA	3
2. SCOPO DEL DOCUMENTO	4
3. SITUAZIONE ATTUALE INFRASTRUTTURALE.....	5
4. MODELLO DI ESERCIZIO ATTUALE.....	9
5. SITUAZIONE DI PROGETTO	12
5.1. ANALISI DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE.....	12
5.2. CALCOLO DEL DIAGRAMMA DI MARCIA E DELLE PRESTAZIONI	14
5.3. MODELLO DI ESERCIZIO DI PROGETTO	20
5.4. VERIFICA DI CAPACITÀ DEI PUNTI SINGOLARI	23
5.5. ANALISI DELLE POSSIBILI TRACCE ORARIE.....	25
5.6. VERIFICA DELLA STAZIONE DI BRINDISI AEROPORTO CON LA TEORIA DELLE CODE.....	26
6. CONCLUSIONI	28

	PROGETTO DEFINITIVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI					
RELAZIONE TECNICA DI ESERCIZIO	COMMESSA IA7K	LOTTO 00	CODIFICA D 16 RG	DOCUMENTO ES 00 01 001	REV. A	FOGLIO 3 di 28

1. PREMESSA

Scopo della presente progettazione consiste nella realizzazione di un nuovo collegamento ferroviario tra la stazione di Brindisi e la futura stazione dell'aeroporto del Salento. Quest'ultimo ha confermato il ruolo strategico rivestito negli ultimi anni per la Regione Puglia, la quale ha visto un notevole incremento dei flussi turistici sia nazionali che internazionali.

Il progetto in oggetto rappresenta la migliore alternativa progettuale risultante da un'analisi multicriteria realizzata all'interno del PFTE di seconda fase consegnato a RFI.

Il tracciato comprende la realizzazione del nuovo collegamento a singolo binario tra la linea Bari - Lecce ("linea Adriatica") e la nuova Stazione di Brindisi Aeroporto con i relativi rami di collegamento con la linea Taranto – Brindisi e la linea Bari – Lecce.

	PROGETTO DEFINITIVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI					
RELAZIONE TECNICA DI ESERCIZIO	COMMESSA IA7K	LOTTO 00	CODIFICA D 16 RG	DOCUMENTO ES 00 01 001	REV. A	FOGLIO 4 di 28

2. SCOPO DEL DOCUMENTO

La presente relazione fornisce l'analisi, in termini di esercizio ferroviario, della realizzazione del nuovo collegamento ferroviario tra la stazione di Brindisi e la futura stazione dell'aeroporto del Salento, nonché dei collegamenti con la direttrice Adriatica Bari – Lecce e con la linea Taranto – Brindisi.

Lo studio è stato sviluppato partendo dall'ipotesi di tracciato e dalle analisi approvate in ambito del PFTE di seconda Fase.

L'infrastruttura analizzata ed il modello di esercizio proposto sono dati di input ricevuti da RFI come specificato nello Studio Preliminare "Collegamento tra la rete ferroviaria nazionale e l'Aeroporto di Brindisi" del 6/12/2018 (cod. doc. RFI.DCO.A0011.P.2018.0000439); la presente relazione propone, quindi, l'analisi di tali soluzioni progettuali in termini di potenzialità funzionali di esercizio.

	PROGETTO DEFINITIVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI					
	RELAZIONE TECNICA DI ESERCIZIO	COMMESSA IA7K	LOTTO 00	CODIFICA D 16 RG	DOCUMENTO ES 00 01 001	REV. A

3. SITUAZIONE ATTUALE INFRASTRUTTURALE

Le attuali caratteristiche tecniche e infrastrutturali delle linee interessate dall'intervento del presente studio sono le seguenti:

Linea **Bari – Lecce**, tratta **San Vito dei Normanni – Brindisi** (Rete Complementare):

- o Binari 2
- o Modulo 480 m
- o Regime circolazione Blocco conta-assi banalizzato
- o Esercizio Dir. Centrale Operativa – SCC
- o Trazione Elettrica 3 kV c.c.
- o Sistema controllo SCMT
- o Trasporto combinato PC45
- o Peso assiale D4L (20/22.5 t per asse con lim.)

Linea **Taranto – Brindisi**, tratta **Brindisi Citt.Illa – Brindisi Perrino – Brindisi** (Rete Complementare):

- o Binari 1
- o Modulo 440 m
- o Regime circolazione Blocco conta-assi
- o Esercizio Dir. Centrale Operativa – CTC
- o Trazione Elettrica 3 kV c.c.
- o Sistema controllo SCMT
- o Trasporto combinato PC45
- o Peso assiale C3 (fino a 20 t per asse)

Nelle figure seguenti vengono riportate le porzioni di Fiancata di Linea relative ai Fascicoli di Linea 133 (per la linea Bari – Lecce) e 135 (per la linea Taranto – Brindisi) di interesse per il progetto in questione (in vigore alla data di stesura del presente documento), per il senso di percorrenza sia dispari che pari.

**SEZIONE 6.1.2 FL FIANCATA DI LINEA (SENSO DISPARI):
BARI C.LE – LECCE**

Innesto bretella BA
Innesto bretella BR

Grado di frenatura	VELOCITA' max. km/h DIRETTA				Progressive chilometriche	LOCALITA' DI SERVIZIO	VELOCITA' max. km/h BIN.DESTRA				Grado di frenatura
	A	B	C	P			A	B	C	P	
la	120	140	145	150	710,15	Cisternino	120	140	145	150	la
I					722,89	Ostuni					I
					731,87	Carovigno					
					747,84	S.Vito					
	100	110	120	120		Cippo km. 756,000	100	110	120	120	
	60	60	60	60		Cippo km. 758,000	60	60	60	60	
					759,54	BRINDISI					
la	130	140	150	150		Cippo km. 761,000	130	140	150	150	la
	140	160	200	200		Cippo km. 764,000	140	160	200	200	
			180	180		Cippo km. 776,000			180	180	
			200	200		776,56 S.Pietro Vernotico			200	200	
						Cippo km. 778,000					
					783,30	Squinzano					

**SEZIONE 7.1.2 FL FIANCATA DI LINEA (SENSO PARI):
LECCE - BARI C.LE**

Innesto bretella BR
Innesto bretella BA

Grado di frenatura	VELOCITA' max. km/h DIRETTA				Progressive chilometriche	LOCALITA' DI SERVIZIO	VELOCITA' massima km/h BIN.DESTRA/ILLEGALE				Grado di frenatura
	A	B	C	P			A	B	C	P	
I	120	120	120	120	797,90	LECCE	120	120	120	120	I
		140	145	150		Cippo km. 796,000		140	145	150	
	140	160	200	200	794,33	SURBO	120	140	145	150	
						Cippo Km. 793,000	140	160	200	200	
					787,50	Trepuzzi					
			180	180	783,30	Squinzano			180	180	
						Cippo Km. 778,000					
			200	200	776,56	S.Pietro Vernotico			200	200	
						Cippo Km. 776,000					
	120	120	120	120		Cippo Km. 766,000			180	180	
60	60	60	60	60		Cippo km. 764,000	120	120	120	120	
						Cippo km. 761,000	60	60	60	60	
	100	110	120	120	759,54	BRINDISI	100	110	120	120	
	120	140	145	150		Cippo Km. 758,000	120	140	145	150	
						Cippo km. 756,000					
					747,84	S.Vito					

Figura 1 – Fiancata principale – FL 133



PROGETTO DEFINITIVO

**COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO
CON LA STAZIONE DI BRINDISI**

RELAZIONE TECNICA DI ESERCIZIO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00	D 16 RG	ES 00 01 001	A	7 di 28

**SEZIONE 6.2 FL FIANCATA DI LINEA
POTENZA CENTRALE - BRINDISI
PM CAGIONI - BELLAVISTA**

Grado di frenatura	VELOCITA' massima km/h DIRETTA				Grado di frenatura	VELOCITA' massima km/h DIRAMATA		Progressive chilometriche	LOCALITA' DI SERVIZIO	VELOCITA' massima km/h BIN. DESTRA					Grado di frenatura
	A	B	C	P		A	B			A	B	C	P		
	100	105							Cippo Km. 53,000						
I	120	140						I 54,65 Mesagne	Cippo Km. 55,000						
									P.L. ■ Km. 58,413						
									59,50 <i>Brindisi Cittadella della Ricerca</i>						
									P.L. ■ Km. 60,526						
	90	95							P.L. ■ Km. 62,740						
									Cippo Km. 66,000						
	60	60							66,63 <i>Brindisi Perrino</i>						
									Cippo Km. 68,000						
									69,17 BRINDISI						

Innesto bretella TA

**SEZIONE 7.2 FL FIANCATA DI LINEA
BRINDISI - POTENZA CENTRALE
BELLAVISTA - PM CAGIONI**

Grado di frenatura	VELOCITA' massima Km/h DIRETTA				Grado di frenatura	VELOCITA' massima Km/h DIRAMATA		Progressive chilometriche	LOCALITA' DI SERVIZIO	VELOCITA' massima km/h BIN. DESTRA					Grado di frenatura
	A	B	C	P		A	B			A	B	C	P		
I ₁	60	60						I 69,17 BRINDISI	Cippo Km. 68,000						
	90	95							66,63 <i>Brindisi Perrino</i>						
									Cippo Km. 66,000						
									P.L. ■ Km. 62,740						
									P.L. ■ Km. 60,526						
									59,50 <i>Brindisi Cittadella della Ricerca</i>						
									P.L. ■ Km. 58,413						
	100	105							Cippo Km. 55,000						
I ₂									54,65 Mesagne						

Innesto bretella TA

Figura 2 – Fiancata principale – FL 135

Nella figura seguente è riportato il layout funzionale attuale dell'area oggetto dell'intervento con le principali progressive chilometriche.

	PROGETTO DEFINITIVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI					
	RELAZIONE TECNICA DI ESERCIZIO	COMMESSA IA7K	LOTTO 00	CODIFICA D 16 RG	DOCUMENTO ES 00 01 001	REV. A

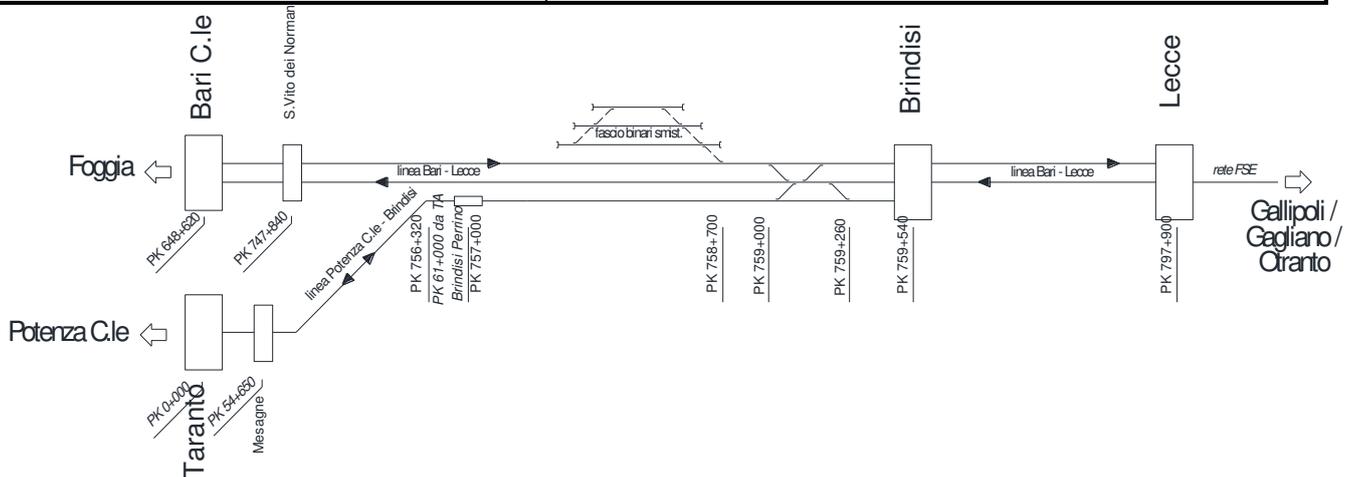


Figura 3 - Scenario infrastrutturale attuale

La stazione di Brindisi, attualmente in fase di upgrading (ACCM + PRG), presenta otto binari (più un fascio di binari di servizio essenzialmente adibiti allo stazionamento dei treni merci). L'utilizzo dei binari è il seguente:

- binario I: precedenza/treni merci diretti al raccordo ASI;
- binario II: binario dispari di corsa della linea Bari – Lecce, sul quale circolano i treni regionali, intercity e ES in direzione sud sulla stessa linea;
- binario III: binario pari di corsa della linea Bari – Lecce, sul quale circolano i treni regionali, intercity e ES in direzione nord sulla stessa linea ed alcuni IC in direzione nord diretti sulla linea per Taranto;
- binario IV: binario di attestamento dei servizi regionali da/per Taranto e di sosta per gli IC da Taranto verso Lecce;
- binario V: binario di attestamento dei servizi regionali da/per Bari con capolinea Brindisi;
- binari VI-VII-VIII: binari di sosta per i treni merci.

A circa un km a nord della stazione è attualmente presente un fascio di binari di ricovero; a circa un km a sud della stazione è presente un fascio di binari adibiti al traffico intermodale. Dal binario II si dirama un binario di raccordo (denominato "Raccordo ASI") per gli attuali traffici verso il porto.

4. MODELLO DI ESERCIZIO ATTUALE

Di seguito vengono riportati i treni che circolano attualmente sulla linea (estrazione da PIC di RFI per un giorno feriale medio di ottobre 2019) ed i diagrammi spazio/tempo relativi alla linea Taranto – Brindisi e alla linea Bari - Lecce (estratti da PIC, con evidenziazione delle tratte di interesse).

Le attuali circolazioni mostrano l'elevata eterotachicità dei servizi, in particolare sulla direttrice Bari – Lecce, dove coesistono diverse tipologie di servizi non cadenzati.

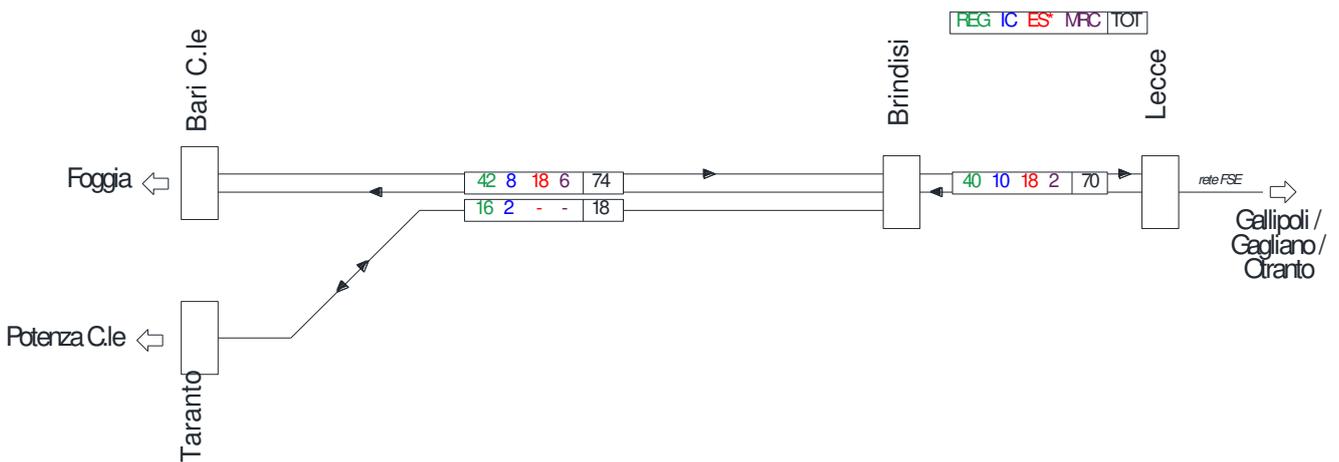


Figura 4 – Modello di esercizio attuale (treni totali giornalieri – ottobre 2019)

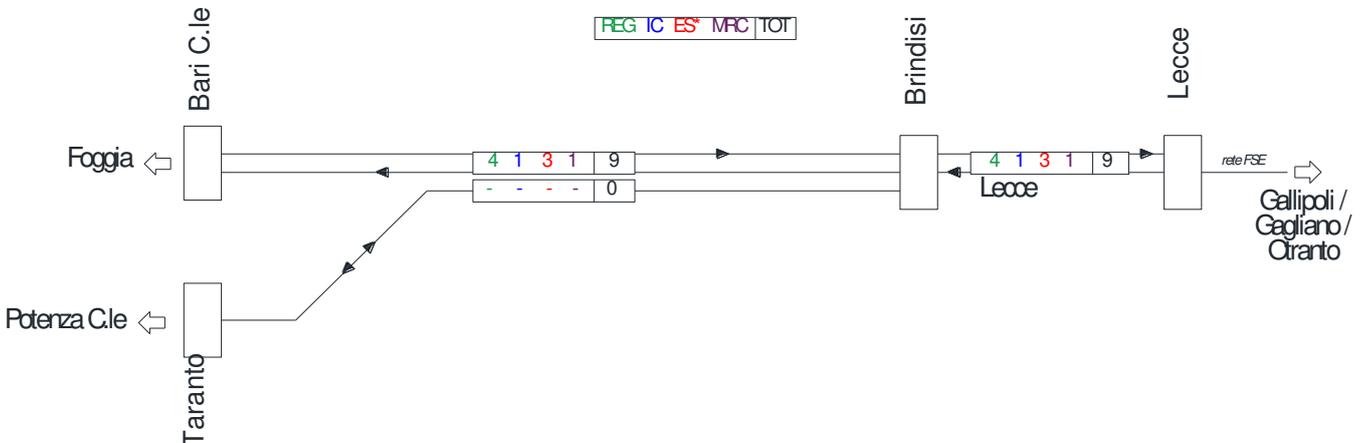


Figura 5 – Modello di esercizio attuale in fascia notturna 22 – 6 (treni/notte – ottobre 2019)

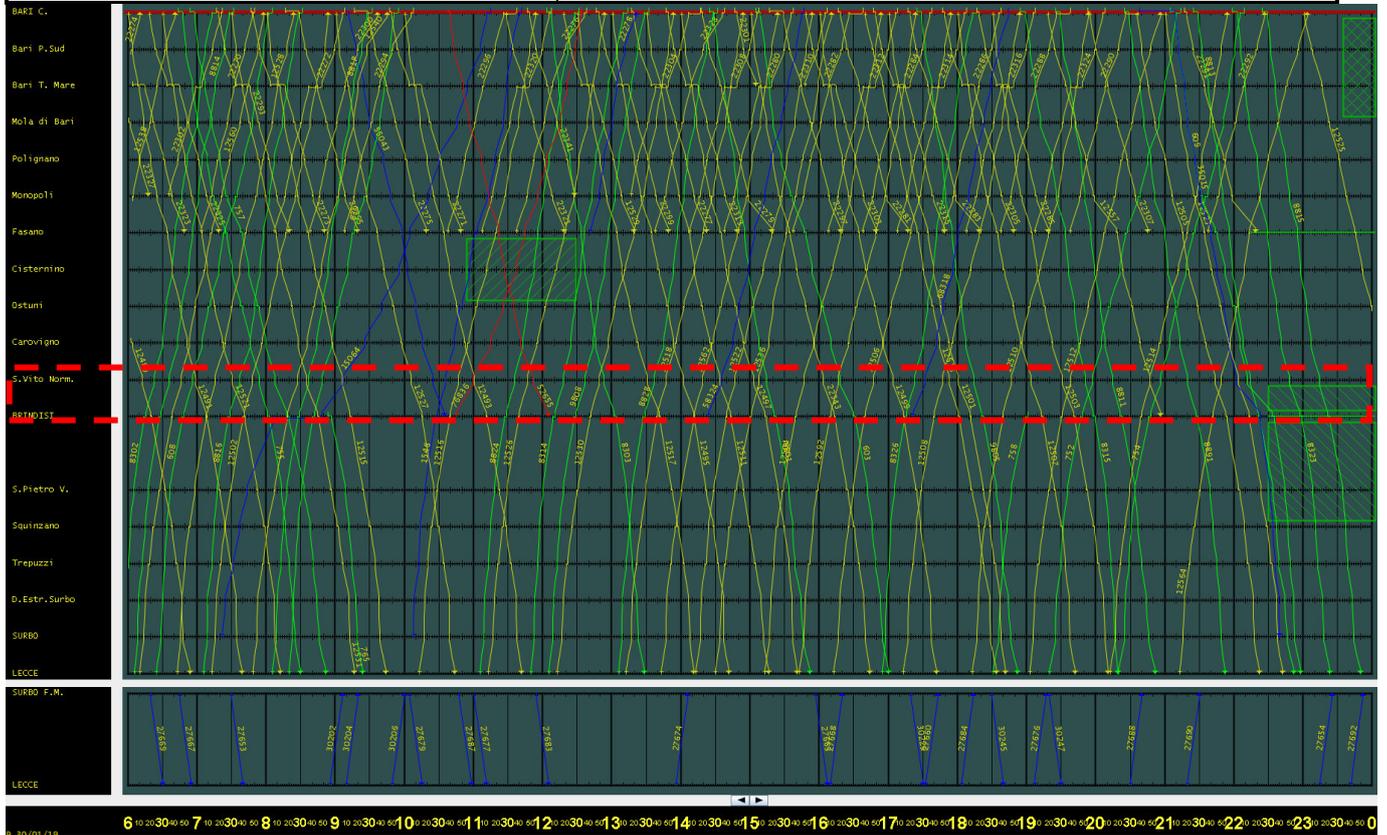


Figura 7 - Train diagram relativo alla linea Bari – Lecce (con evidenziata la tratta S.Vito – Brindisi - ottobre 2019)

Nell'attuale configurazione i servizi presentano i seguenti tempi di percorrenza (nel caso dei Regionali la variabilità è dovuta al numero di fermate effettuate, ossia nel caso di Regionali e Regionali Veloci, fonte Trenitalia).

	Bari C.le – Brindisi	Taranto – Brindisi
	[min]	[min]
REG / IC	tra 70 e 85	tra 60 e 85
ES*	tra 50 e 60	---

Figura 8 - Tempi di percorrenza attuali

	PROGETTO DEFINITIVO					
	COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI					
RELAZIONE TECNICA DI ESERCIZIO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA7K	00	D 16 RG	ES 00 01 001	A	12 di 28

5. SITUAZIONE DI PROGETTO

5.1. Analisi della soluzione progettuale

Gli interventi oggetto di studio della presente relazione prevedono la realizzazione di un nuovo collegamento a singolo binario che inizia dalla linea a doppio binario Bari - Lecce (nella tratta S. Vito – Brindisi) e termina nella nuova stazione di Brindisi Aeroporto. La progettazione prevede anche lo studio dei tratti di innesto sia verso Taranto (dalla linea a singolo binario Taranto – Brindisi nella tratta Mesagne - Brindisi) sia verso Bari. Per la piena funzionalità di tali bretelle sono previste anche due comunicazioni sulla linea Bari – Lecce.

La soluzione studiata prevede innesto a raso sulla linea Bari – Lecce a circa 5 km da Brindisi, con uno sviluppo totale (dalla stazione di Brindisi alla stazione di Brindisi Aeroporto) di circa 11 km e velocità di tracciato di 100 km/h (limitata a 60/h in alcuni tratti); le bretelle sia lato Taranto che Bari sono di lunghezza di circa 1 km e velocità di 60 km/h. Gli enti relativi alle diramazioni sono parte del nuovo PM Aeroporto Brindisi (nel seguito anche rinominato “Bivio Aeroporto”).

Nella figura seguente è riportato lo schema funzionale della soluzione.

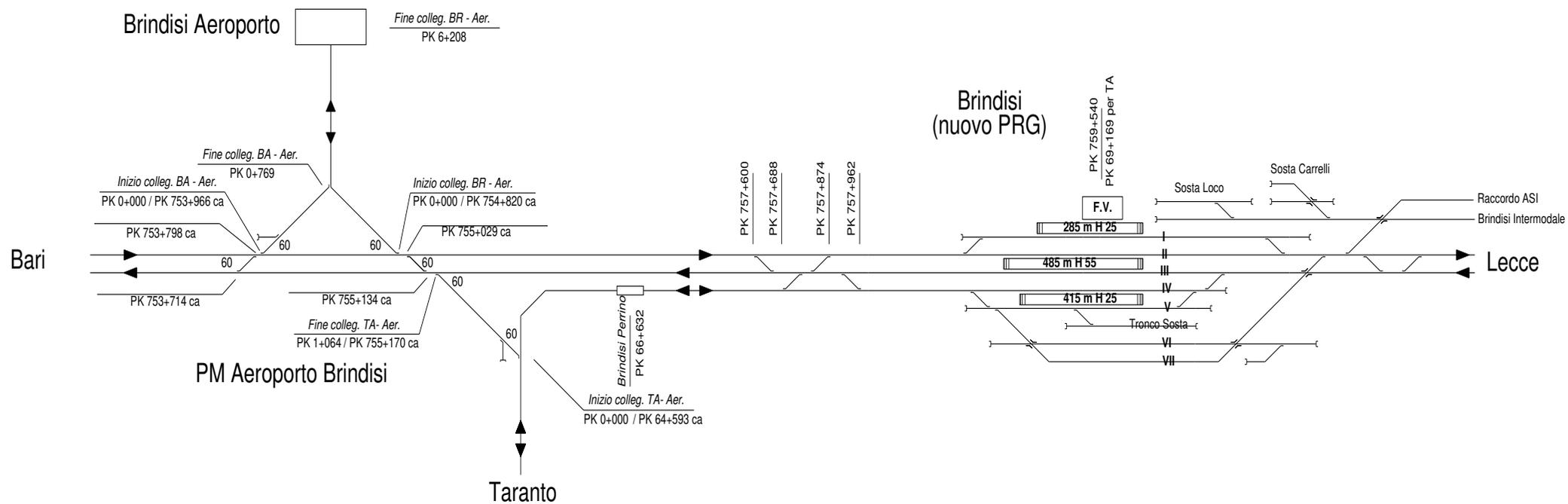


Figura 9 - Schema funzionale della soluzione studiata

	PROGETTO DEFINITIVO				
	COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI				
RELAZIONE TECNICA DI ESERCIZIO	COMMESSA IA7K	LOTTO 00	CODIFICA D 16 RG	DOCUMENTO ES 00 01 001	REV. FOGLIO A 14 di 28

La nuova stazione di Brindisi Aeroporto prevede due binari di stazionamento serviti da due marciapiedi esterni. Il piano del ferro prevede comunicazioni a 60 km/h e tronchini di sicurezza (come specificato nello Studio Preliminare "Collegamento tra la rete ferroviaria nazionale e l'Aeroporto di Brindisi" del 6/12/2018 – cod. doc. RFI.DCO.A0011.P.2018.0000439).

Brindisi Aeroporto

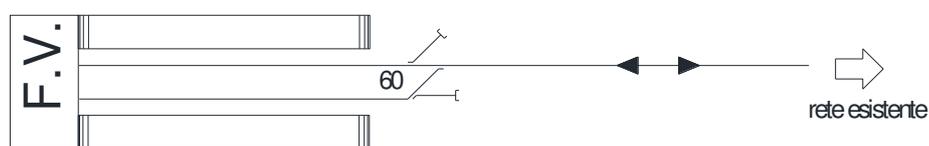


Figura 10 – Schema funzionale della stazione di Brindisi Aeroporto

La realizzazione della nuova stazione di testa a due binari è inserita nel nuovo sistema ACC-M di Brindisi di prossima attivazione. Il nuovo sistema di distanziamento della linea è il BACC – RSC. Nelle lavorazioni dell'ACC-M è prevista anche la dismissione del fascio di binari di servizio che si trovano attualmente sul lato nord di Brindisi (a circa un km dalla stazione).

Le comunicazioni utilizzate per la realizzazione degli innesti delle alternative progettuali analizzate sono previste a 60 km/h.

5.2. Calcolo del diagramma di marcia e delle prestazioni

È effettuato il calcolo dei tempi di percorrenza attraverso il software specialistico IF-SIM (software proprietario Italfer). Il software rende possibile lo studio della marcia del treno su una linea in relazione alle prestazioni di uno specifico materiale rotabile, alla configurazione del tracciato (livellate, curve planimetriche, stazioni, PM, sistema di distanziamento, segnalamento ecc.) e alle caratteristiche commerciali del servizio (tempi di fermata, allungamenti), fornendo tempi di percorrenza, velocità e consumi energetici.

Si riportano le caratteristiche del treno regionale "tipo" considerato per le simulazioni:

- ETR 425 – Jazz a 5 casse:
 - o lunghezza totale: 82 m;
 - o peso totale: 281 t (con carico all'80%);
 - o velocità massima raggiungibile: 160 km/h.

Ai fini della simulazione è stata considerata la sosta sia nella stazione di Brindisi che di Brindisi Aeroporto (con conseguenti fasi di moto vario in accelerazione e frenatura); per le bretelle sono stati ipotizzati ingresso e uscita dalle bretelle alla velocità di tracciato (pari a 60 km/h). La velocità utilizzata per la simulazione è la velocità massima di tracciato. Sono stati anche analizzati gli itinerari dal bivio sulla linea lato Bari all'aeroporto e dal bivio dalla linea Taranto all'aeroporto, come riportato nella figura seguente. I tempi di percorrenza riportati sono comprensivi di margini di recupero (stimati pari a circa 1 minuti ogni 20 km).

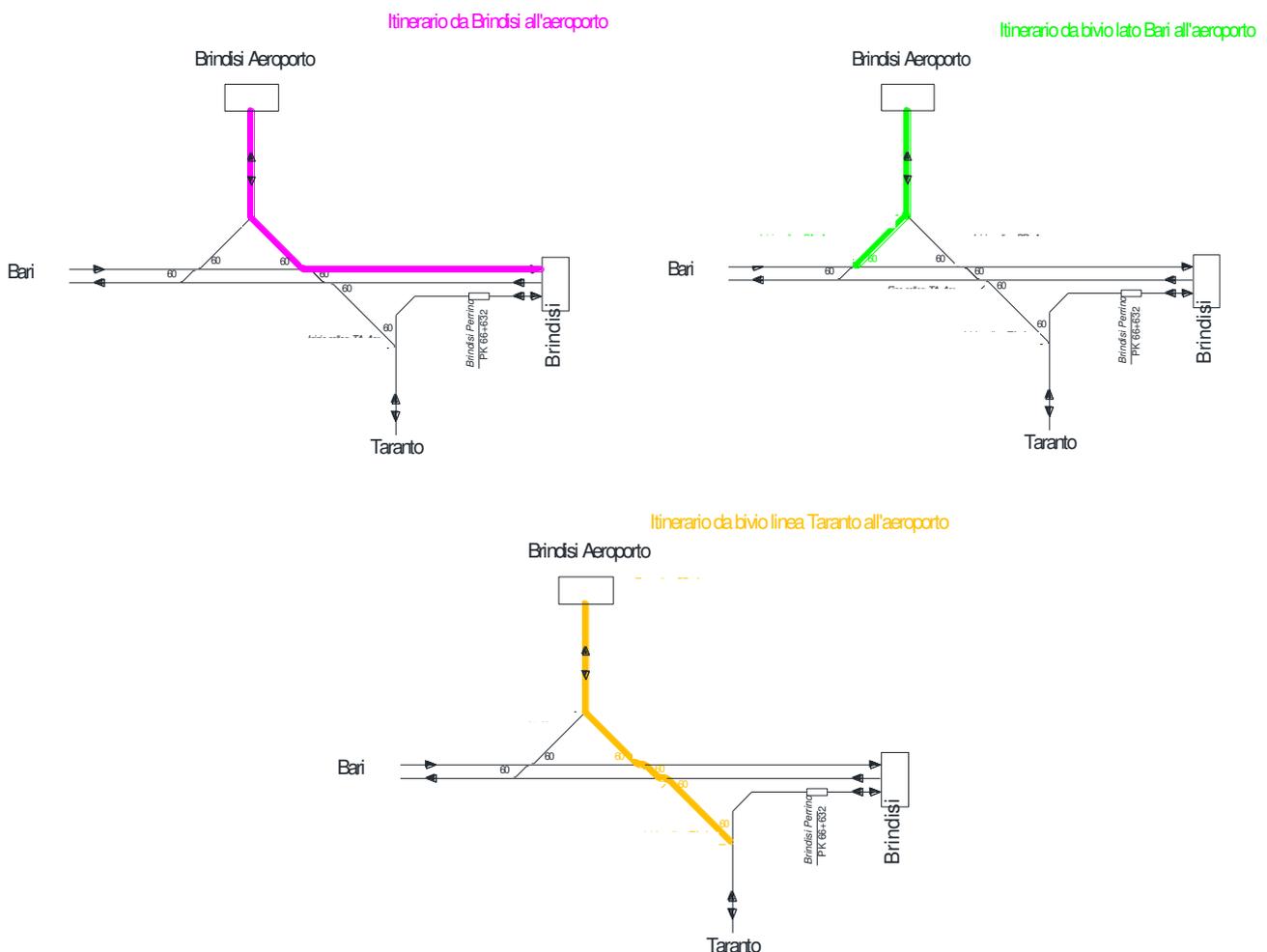


Figura 11 – Schematizzazione degli itinerari studiati

I dati riportati nella seguente tabella sono relativi alla tratta Brindisi – Brindisi Aeroporto; nella successiva sono riportati i dati dal bivio sulla linea lato Bari all'aeroporto e dal bivio dalla linea Taranto all'aeroporto. Le simulazioni sono state effettuate considerando una velocità di ingresso/uscita dai bivi pari a 60 km/h e sosta nella stazione dell'aeroporto. Per tutte le simulazioni, i dati riportati sono relativi al senso di marcia, tra andata e ritorno, che presenta valori più alti.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO					
	COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI					
RELAZIONE TECNICA DI ESERCIZIO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA7K	00	D 16 RG	ES 00 01 001	A	16 di 28

<i>Indicatore</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Brindisi – Brindisi Aeroporto</i>
<i>Lunghezza</i>	Km	10,8
<i>Velocità media</i>	Km/h	69,8
<i>Tempo di percorrenza</i>	hh:mm:ss	00:09:22
<i>Consumo energetico</i>	kWh	143

Figura 12 - Risultati ottenuti tramite simulazione per l'itinerario complessivo da Brindisi all'aeroporto

<i>Indicatore</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Bivio Bari - aeroporto</i>	<i>Bivio Taranto - aeroporto</i>
<i>Lunghezza</i>	Km	6,2	7,5
<i>Velocità media</i>	Km/h	70,9	68,1
<i>Tempo di percorrenza</i>	hh:mm:ss	00:05:19	00:06:40
<i>Consumo energetico</i>	kWh	75	79

Figura 13 - Risultati ottenuti tramite simulazione per gli itinerari dal bivio lato Bari all'aeroporto e dal bivio dalla linea Taranto all'aeroporto

Nella seguente tabella sono sintetizzati i dati relativi alle sole tratte di nuova realizzazione (linea dal bivio all'aeroporto, bretella lato Taranto, bretella lato Bari). Per tutte le simulazioni, i dati riportati sono relativi al senso di marcia, tra andata e ritorno, che presenta valori più alti.

Tratta	Lunghezza [Km]	Vmax [Km/h]	Pendenza		Curve			Tempi percorrenza puri (senza margini di recupero) [hh:mm:ss]	Consumo [kWh]
			Min [%]	Max [%]	Numero di curve [-]	Raggio min [m]	Raggio max [m]		
<i>Bivio – Brindisi Aeroporto</i>	6,23	100	0	19,63	11	350	800	00:05:00	75
<i>Bretella lato Taranto</i>	1,063	60	0	12	3	300	400	00:01:04	6
<i>Bretella lato Bari</i>	0,769	60	0	1,045	3	350	400	00:00:46	2

Figura 14 - Risultati ottenuti tramite simulazione per le tratte di nuova realizzazione

Di seguito sono riportati gli output grafici (diagrammi delle velocità) ottenuti tramite software di simulazione, in cui sono descritti in maniera completa i risultati.

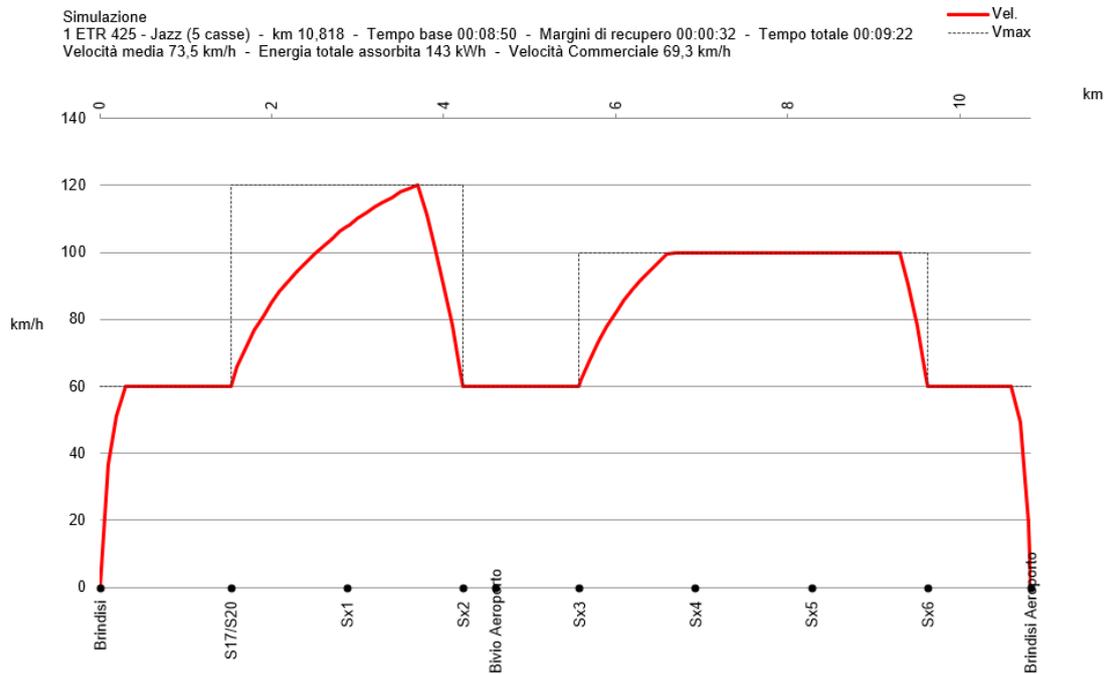


Figura 15 - Tracciato da Brindisi a Brindisi Aeroporto

Simulazione
1 ETR 425 - Jazz (5 casse) - km 10,818 - Tempo base 00:08:45 - Margini di recupero 00:00:32 - Tempo totale 00:09:18
Velocità media 74,1 km/h - Energia totale assorbita 79 kWh - Velocità Commerciale 69,8 km/h

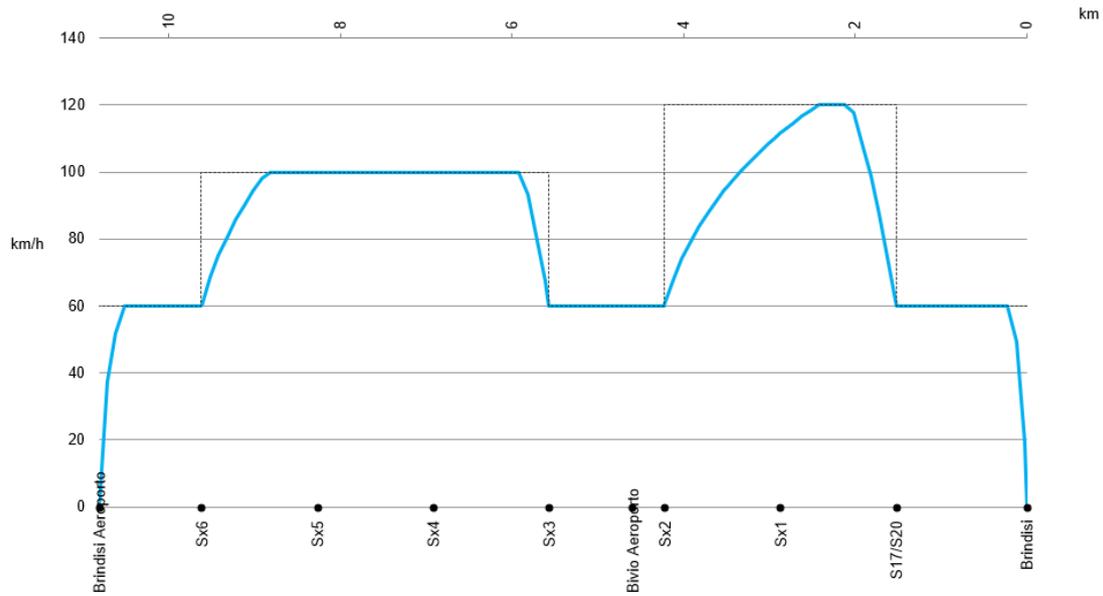


Figura 16 - Tracciato da Brindisi Aeroporto a Brindisi

Simulazione
1 ETR 425 - Jazz (5 casse) - km 6,223 - Tempo base 00:04:58 - Margini di recupero 00:00:19 - Tempo totale 00:05:16
Velocità media 75,3 km/h - Energia totale assorbita 75 kWh - Velocità Commerciale 70,9 km/h

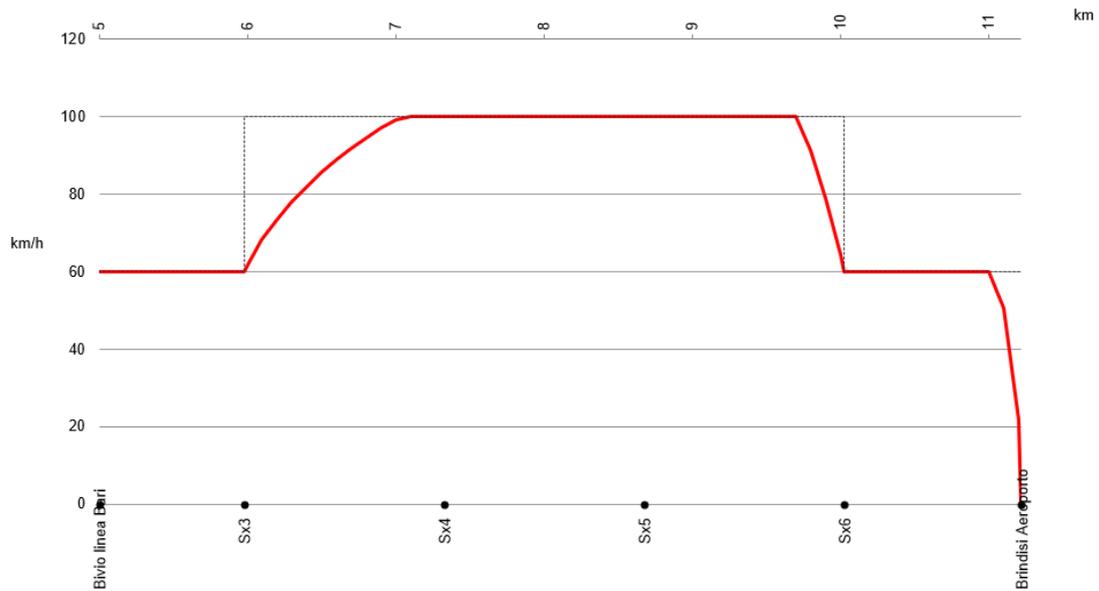


Figura 17 - Tracciato da bivio lato Bari all'aeroporto

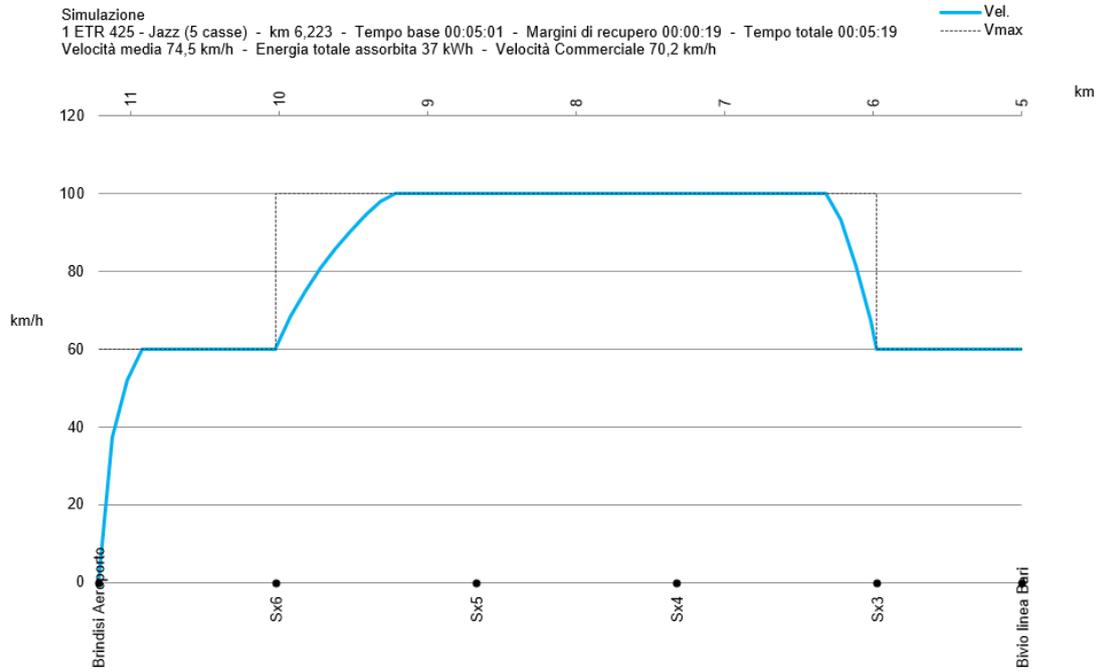


Figura 18 - Tracciato dall'aeroporto al bivio lato Bari

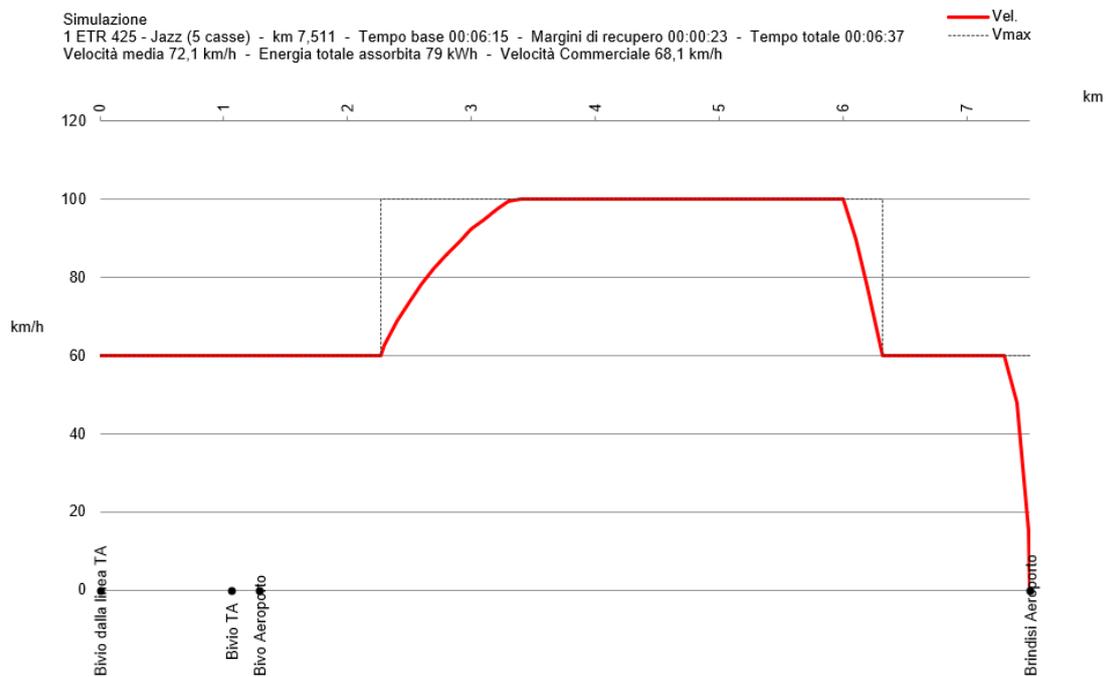


Figura 19 - Tracciato da bivio dalla linea Taranto all'aeroporto

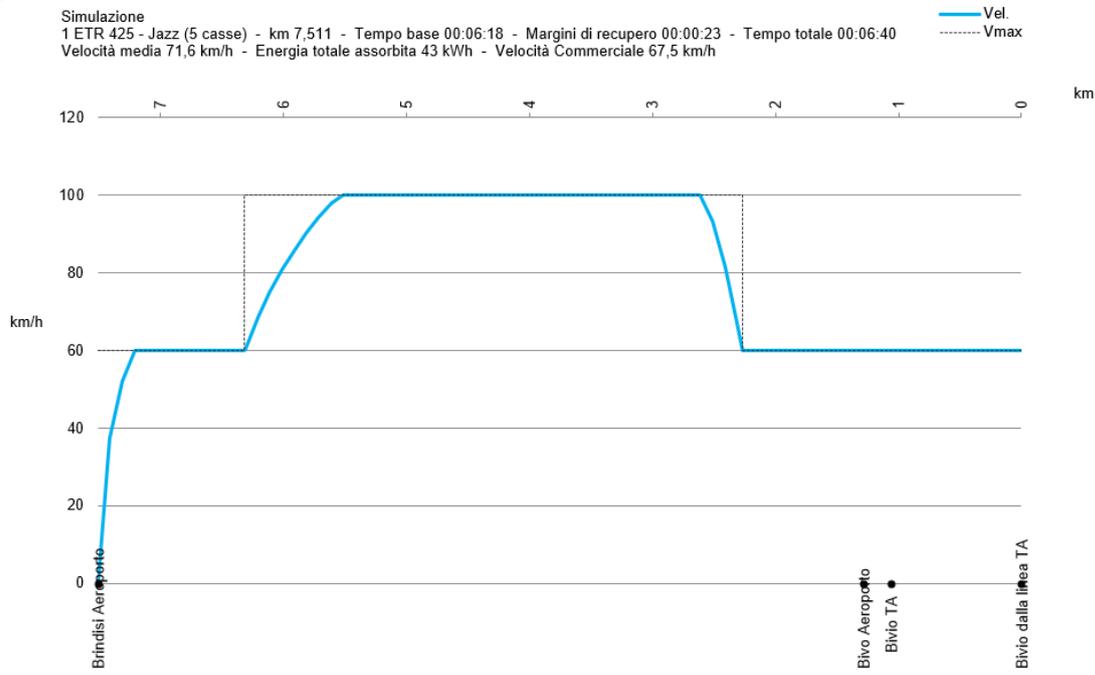


Figura 20 - Tracciato dall'aeroporto al bivio dalla linea Taranto

5.3. Modello di esercizio di progetto

Il modello di esercizio proposto ha l'intento di collegare l'aeroporto di Brindisi con il territorio salentino tramite servizi interoperabili RFI e FSE (Ferrovie del Sud Est) di tipo Regionale Veloce.

Nella figura seguente è riportato il numero di treni ipotizzato per i collegamenti con l'aeroporto, ossia:

- 3 coppie di Regionali Veloci Lecce – Brindisi Aeroporto – Bari C. le;
- 3 coppie di Regionali Veloci Gallipoli – Lecce – Brindisi Aeroporto;
- 3 coppie di Regionali Veloci Gagliano – Lecce – Brindisi Aeroporto;
- 3 coppie di Regionali Veloci Otranto – Lecce – Brindisi Aeroporto;
- 4 coppie di Regionali Veloci Taranto – Brindisi Aeroporto – Brindisi.

In particolare, si ipotizza che le 3 coppie di treni Lecce – Bari C. le e le 4 coppie Taranto – Brindisi vadano a modificare l'attuale percorrenza di altrettante coppie di treni esistenti, lasciando inalterati

gli altri treni regionali (ossia non si prevede, per questi rimanenti, la fermata all'aeroporto); i servizi da/per Gallipoli/Gagliano/Otranto sono servizi nuovi in aggiunta agli esistenti.

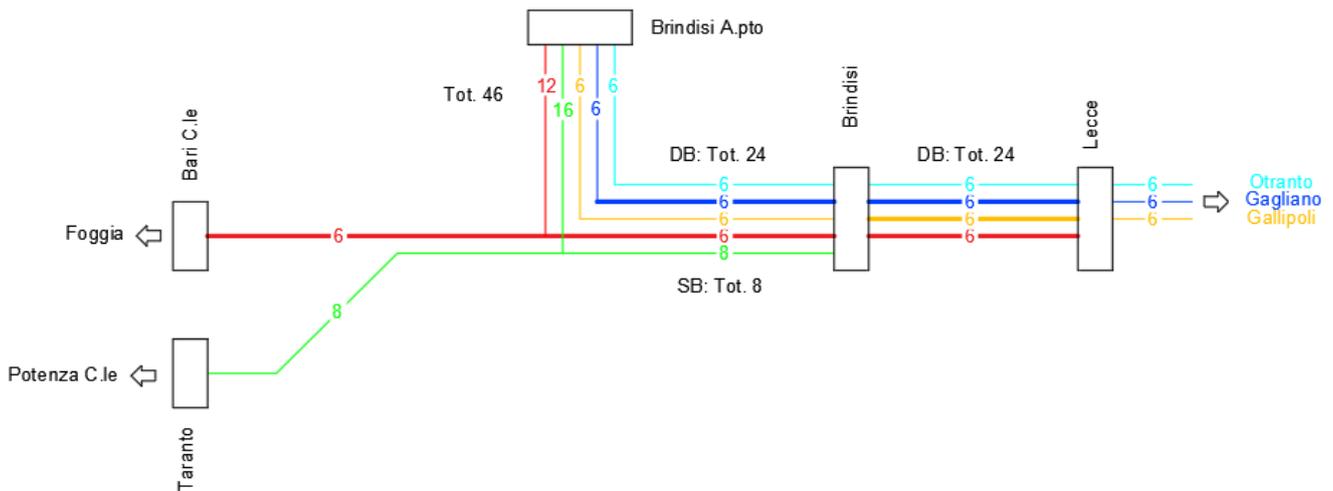


Figura 21 - Schematizzazione dei soli servizi Regionali Veloci previsti da/per l'aeroporto di Brindisi senza navette tra Brindisi e Brindisi aeroporto (i valori indicano il numero di treni, ossia il numero di circolazioni totali, che insistono sul determinato arco; DB: linea Adriatica a doppio binario; SB: linea per Taranto a singolo binario)

Con la realizzazione anche delle bretelle lato Bari e lato Taranto è possibile inserire servizi dedicati diretti da Bari all'aeroporto di Brindisi e viceversa e da Taranto all'aeroporto e viceversa, evitando ai passeggeri provenienti/diretti all'aeroporto da Bari/Taranto di dover effettuare un cambio nella stazione di Brindisi con il servizio navetta per l'aeroporto (o con i convogli provenienti da Lecce e diretti all'aeroporto).

Nella figura seguente è riportata un'ipotesi di modello di esercizio comprendente anche, oltre alle circolazioni regionali precedentemente specificate, l'inserimento di navette da/per l'aeroporto con frequenza ogni 30 minuti per entrambi i sensi di marcia. Viene studiata tale ipotesi al fine di verificare la capacità in una soluzione gravosa per il sistema.

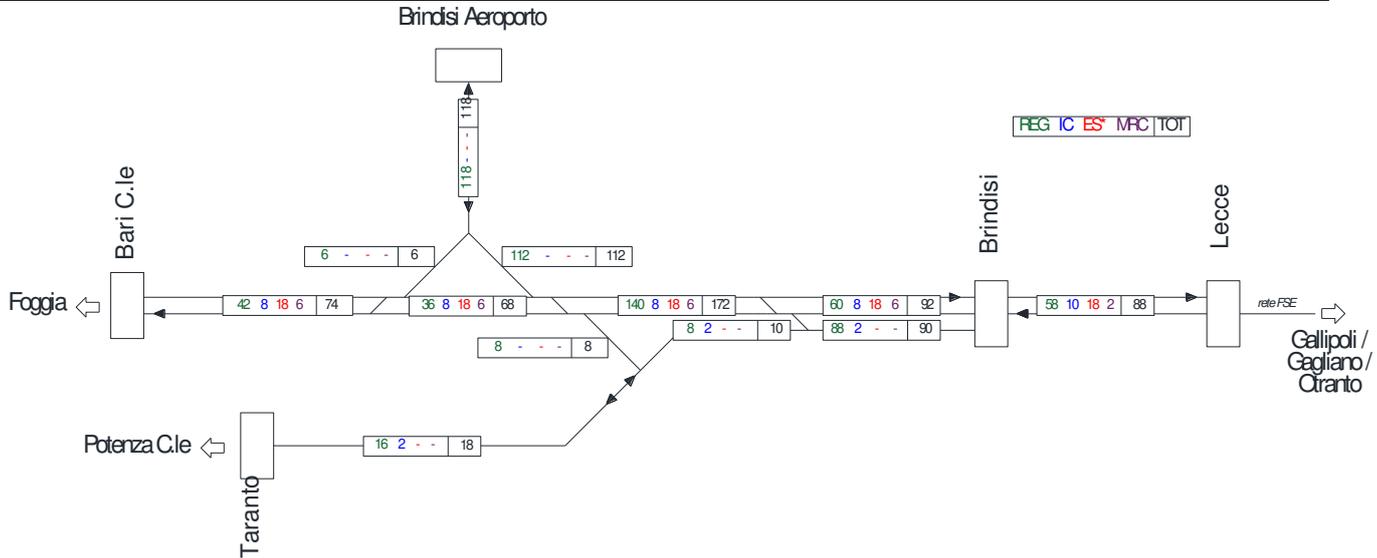


Figura 22 – Ipotesi di modello di esercizio con l’inserimento di navette da/per l’aeroporto ogni 30’ al fine della verifica di capacità (i valori in figura sono treni/giorno)

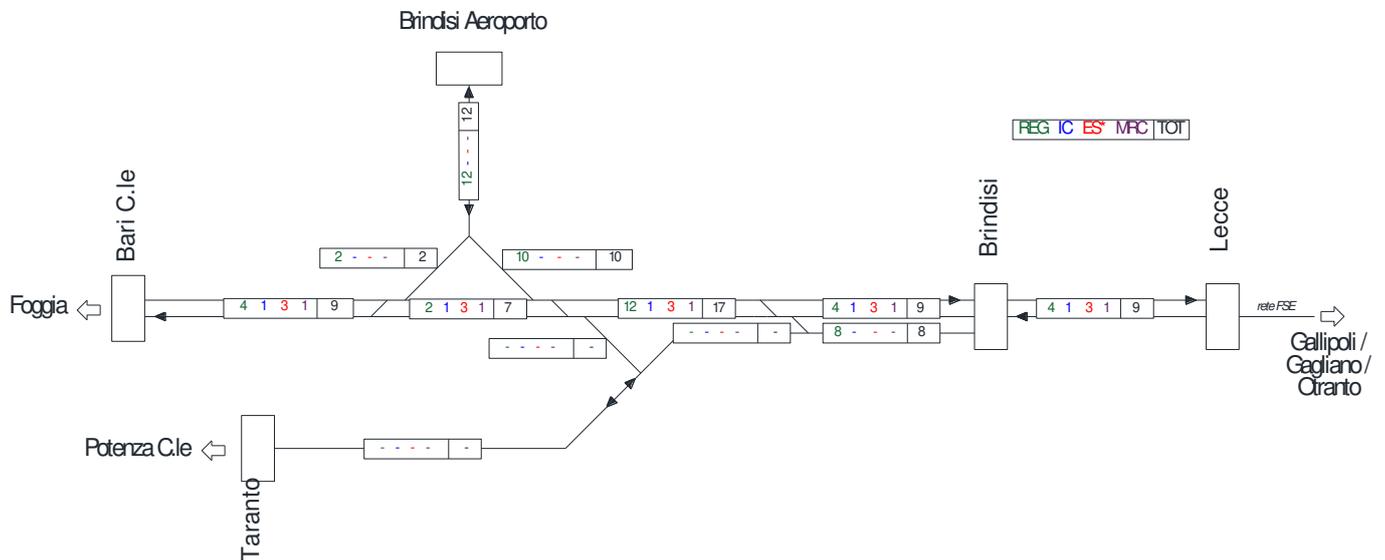


Figura 23 – Ipotesi di modello di esercizio in fascia notturna 22 – 6 con l’inserimento di navette da/per l’aeroporto ogni 30’ al fine della verifica di capacità (i valori in figura sono treni/notte)

Dall’analisi dei tempi di percorrenza precedentemente riportati risulta che i servizi Bari – Aeroporto – Brindisi/ Lecce e Taranto – Aeroporto – Brindisi comportano un incremento del tempo di totale di percorrenza orientativamente di:

	PROGETTO DEFINITIVO					
	COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI					
RELAZIONE TECNICA DI ESERCIZIO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA7K	00	D 16 RG	ES 00 01 001	A	23 di 28

- circa 18 minuti per i treni provenienti da Bari e diretti a Brindisi/ Lecce e viceversa (circa 5 minuti per occupare la tratta in entrata ed uscita dall'aeroporto e 8 minuti di inversione di banco);
- circa 21 minuti per i treni provenienti da Taranto e diretti a Brindisi e viceversa (circa 1 minuto per percorrere la bretella da/per Taranto, 5 minuti per occupare la tratta in entrata ed in uscita dall'aeroporto, 8 minuti di inversione di banco e circa 2 minuti per re-immetersi sulla linea Taranto - Brindisi).

Nella tabella seguente è riportata una sintesi degli allungamenti di percorrenza appena descritti.

Collegamento	Tempo aggiuntivo (rispetto all'attuale percorrenza)
Bari – Brindisi/Lecce e viceversa	+ 18 minuti circa
Taranto – Brindisi e viceversa	+ 21 minuti circa

Figura 24 – Tempo aggiuntivo per i treni passanti per l'aeroporto rispetto agli equivalenti treni non passanti per l'aeroporto

5.4. Verifica di capacità dei punti singolari

È stato analizzato l'innesto a raso del nuovo binario per l'aeroporto con la linea Bari – Lecce e Taranto – Brindisi.

È stata anche studiata la capacità della nuova stazione di Brindisi Aeroporto e della stazione di Brindisi, tenendo quindi conto della realizzazione del nuovo PRG e dell'attivazione dell'ACC-M.

L'analisi di capacità è effettuata tramite l'ausilio del software IF-Cap. (software proprietario di Italferr). Il software rende possibile lo studio probabilistico della capacità di un nodo valutando il numero medio di circolazioni possibili, il tempo medio d'occupazione e la quantità di ritardo generata del processo di circolazione, fornendo un coefficiente di utilizzazione.

Per la verifica della capacità della stazione di Brindisi è ipotizzato un modello di esercizio con la seguente ripartizione di circolazioni:

- i treni provenienti dall'aeroporto e diretti a Lecce/ Gallipoli/ Gagliano/ Otranto circolano sul binario II;
- i treni provenienti da Lecce/ Gallipoli/ Gagliano/ Otranto e diretti all'aeroporto circolano sul binario III;
- i treni provenienti e diretti a Taranto e con fermata all'aeroporto si attestano sul binario V;

	PROGETTO DEFINITIVO					
	COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI					
RELAZIONE TECNICA DI ESERCIZIO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA7K	00	D 16 RG	ES 00 01 001	A	24 di 28

- i treni esistenti circolano sui binari attuali.

Nella tabella seguente sono riportati i valori ottenuti; in queste simulazioni non sono stati considerati i servizi navetta.

Periodo di esercizio: 18 h		Numero totale di circolazioni	Coefficiente Utilizzazione Regolare	Coefficiente Utilizzazione Totale
Stazione Brindisi	Attuale	164	0,28	0,30
	Progetto	201	0,37	0,41
Stazione Brindisi Aeroporto	Progetto	46	0,29	0,31
Bivio Aeroporto	Progetto	113	0,35	0,38

Figura 25 - Risultati ottenuti tramite simulazione (senza servizio navetta)

Dall'analisi di questi risultati si evince che, considerato un coefficiente di utilizzazione regolare di progetto pari a circa 0,42, le circolazioni portano gli impianti ed il bivio ad un livello di utilizzazione accettabile.

È stata, inoltre, valutata la possibilità di inserimento di servizi navetta tra Brindisi e Brindisi Aeroporto ogni 30' per senso di marcia, prevedendo di attestare tali circolazioni al binario V. In questa alternativa sono state anche considerate le future nuove circolazioni per il porto di Brindisi (dagli attuali 20 treni/settimana ai futuri 7 treni/giorno, ipotizzati serviti ai binari VI e VII).

Dall'analisi della capacità degli impianti si evince come generalmente l'aggiunta di questi servizi navetta comporti un peggioramento per tutti i punti singolari, in particolare per la stazione di Brindisi, portandola ad un valore di utilizzazione che viene accettato solo per limitati periodi di tempo (ore di punta); infatti, l'utilizzo giornaliero con tale coefficiente di utilizzazione comporterebbero un difficile riassorbimento di eventuali ritardi con conseguenti problemi alla circolazione. L'aggiunta o meno dei nuovi treni per il porto (7 nuovi treni ipotizzati a fronte degli attuali 4) varia di poco i valori ottenuti.

Di seguito i risultati per la stazione di Brindisi:

	PROGETTO DEFINITIVO				
	COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI				
RELAZIONE TECNICA DI ESERCIZIO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV. FOGLIO
	IA7K	00	D 16 RG	ES 00 01 001	A 25 di 28

Periodo di esercizio: 18 h		Numero totale di circolazioni	Coefficiente Utilizzazione Regolare	Coefficiente Utilizzazione Totale
Stazione Brindisi	Progetto con navette ogni 30' e 7 treni/giorno per il porto	281	0,63	0,72

Figura 26 - Risultati ottenuti tramite simulazione della stazione di Brindisi per la situazione futura con servizi navetta per l'aeroporto ogni 30' per senso di marcia e nuove circolazioni per il porto

Inoltre, nel caso della stazione di Brindisi Aeroporto, con l'inserimento di navette ogni 30' (ossia 36 treni/giorno considerando 18 h di servizio) si ottiene un valore del coefficiente di utilizzazione regolare (ossia su tutta la giornata) superiore al limite di 0,42. Se, ragionando in maniera inversa, si ipotizza di ammettere un coefficiente di utilizzazione regolare (ossia valido su tutta la giornata) di 0,42, si ottiene l'inserimento di circa 18 navette giornaliere, che corrispondono, nelle 18 ore di servizio ipotizzato, ad una navetta ogni 60 minuti circa per senso di marcia. Per ottenere un coefficiente di utilizzazione totale (ossia ammissibile limitatamente alle ore di punta) di 0,65 risultano essere inseribile circa 30 navette (una ogni circa 35' per senso di marcia).

5.5. Analisi delle possibili tracce orarie

Dall'analisi del numero delle circolazioni attuali e del diagramma orario risultano mediamente disponibili fasce di circa 15 minuti in cui devono essere inseriti i nuovi servizi regionali descritti precedentemente (16 coppie totali di treni, che, su un periodo di riferimento di circa 18 ore di servizio giornaliero, corrispondono a 1 coppia circa ogni ora) e i treni che effettuano servizio navetta. Tali considerazioni vanno verificate con l'effettiva capacità del sistema di segnalamento, con l'effettiva possibilità di inserimento nell'orario esistente (in particolare nelle attuali tracce già esistenti sulle linee in esercizio Bari – Lecce e Taranto – Brindisi) e con la capacità degli impianti (nel paragrafo seguente viene verificata, tramite teoria delle code, la stazione di Brindisi Aeroporto).

Nella figura seguente viene riportato un diagramma spazio/tempo teorico con le ipotetiche tracce orarie disponibili nella tratta Brindisi – Brindisi Aeroporto.

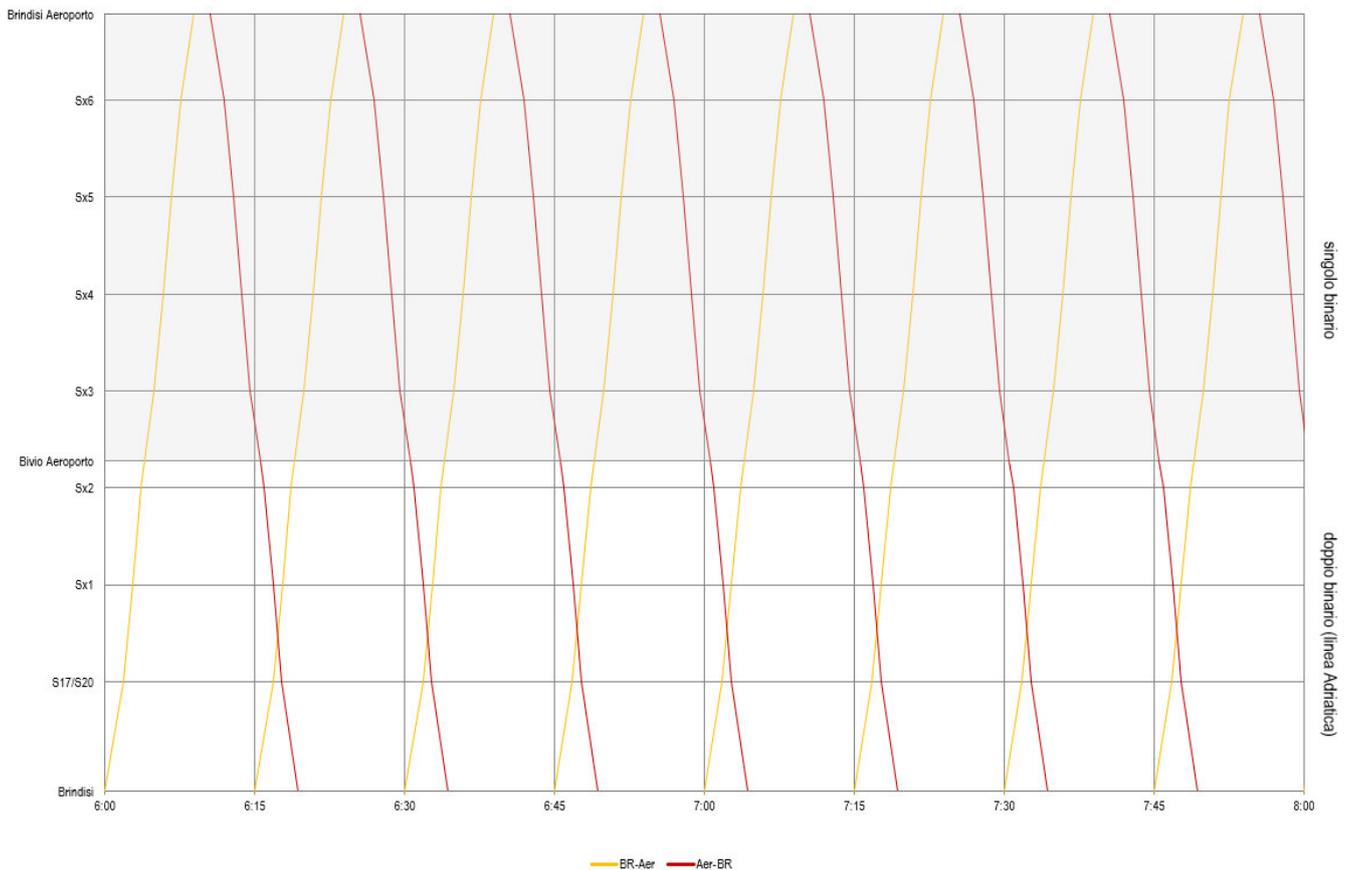
Brindisi - Aeroporto


Figura 27 - Diagramma spazio/tempo con le teoriche tracce orarie disponibili nella tratta Brindisi – Brindisi Aeroporto

5.6. Verifica della stazione di Brindisi Aeroporto con la teoria delle code

È stata fatta, quindi, una analisi con la teoria delle code della stazione di Brindisi Aeroporto con il software IF-Queue (software proprietario Italferr). Il software fornisce indicazione sulla probabilità che si formi una coda sulla base del numero di canali serventi, dell'intertempo tra gli arrivi e del tempo medio di servizio ipotizzati.

Nel caso di soli servizi Regionali Veloci, quindi un treno ogni 47 minuti circa (considerando le 23 circolazioni in ingresso alla stazione e 23 in uscita in un intervallo di tempo di 18 ore ed un tempo medio di servizio di 15 minuti) si ottiene una probabilità di coda inferiore al 5 % (considerato come valore accettabile di progetto), come riportato nella figura seguente.

	PROGETTO DEFINITIVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI				
	RELAZIONE TECNICA DI ESERCIZIO	COMMESSA IA7K	LOTTO 00	CODIFICA D 16 RG	DOCUMENTO ES 00 01 001

(vers. 1.0 - 01/2013)

APPLICAZIONE DELLA TEORIA DELLE CODE PER SISTEMI DI TIPO M/M/s

INPUT

Canali serventi (max 101)	Intertempo arrivi* [unità di tempo]	Tempo medio servizio* [unità di tempo]
s	1/λ	1/μ
2	47	15

*Intertempo arrivi e Tempo medio di servizio espressi nella stessa unità di tempo

λ/μ	Fattore Utilizzazione ρ = λ/sμ
0,319148936	0,160

NOTA

DATI DI UN SISTEMA A CODA

- λ : Numero medio di clienti in arrivo nell'unità di tempo
- 1/λ : Tempo medio di interarrivo tra un cliente e l'altro
- μ : Numero medio di clienti serviti nell'unità di tempo da un singolo servente
- 1/μ : Durata media del servizio
- s : Numero di unità serventi del sistema
- ρ = λ/sμ : Tasso di utilizzo del sistema (fattore di utilizzazione)

PARAMETRI FUNZIONALI DI UN SISTEMA A CODA

- L_q : Lunghezza media della coda
- W_q : Tempo medio di attesa in coda
- L_s : Numero medio di utenti nel sistema
- W_s : Tempo medio di attesa nel sistema

OUTPUT

Probabilità di coda	
$P_{coda} = 1 - (P_0 + P_1 + \dots + P_n)$ [per $1 \leq n < s$]	4,39%
Lunghezza media di coda [utenti]	0,008
$L_q = P_0(s\rho)^{s-1}/s^2(s-1)!(1-\rho)^2$	
Tempo medio di attesa in coda [unità di tempo]	0,392
$W_q = L_q/\lambda$	
Tempo medio di attesa nel sistema [unità di tempo]	15,392
$W_s = W_q + 1/\mu$	
Numero medio di utenti nel sistema [utenti]	0,327
$L_s = L_q + \lambda/\mu$	

TIPOLOGIA DI SISTEMA A CODA ANALIZZATO

- M/M/s/∞/∞/FIFO : coda con processo degli arrivi e dei servizi markoviano, con s servitori, con capacità del sistema infinita e con arrivi provenienti da una popolazione infinita che vengono serviti secondo una disciplina di tipo FIFO (First-In First-Out)

IPOTESI

- Sistema in **regime stazionario** ossia probabilità di stato costanti e indipendenti dal tempo
- l'ipotesi suddetta soddisfatta se e solo se $\lambda < s\mu$ oppure $\rho < 1$ (condizione di stabilità)

Figura 28 – Applicazione del tool IF-Queue alla stazione di Brindisi Aeroporto: verifica nel caso di soli treni Regionali Veloci

Nel caso di aggiunta di servizi navetta ogni 30 minuti oltre ai treni Regionali Veloci si avrebbe mediamente un treno ogni 18 minuti circa, se si considerano 23 circolazioni dei Regionali Veloci in ingresso e 23 in uscita e 36 circolazioni di treni navetta in ingresso e uscita dalla stazione in un intervallo di tempo di 18 ore, ed un tempo medio di servizio di 15 minuti. La corrispondente probabilità di coda risulta essere molto superiore al 5 % (intorno al 25% se si considera un tempo medio di servizio di 15 minuti, e intorno all'8% se si abbassa tale tempo medio di servizio al tempo minimo necessario per il cambio banco di manovra, ossia 8 minuti). L'utilizzo dell'impianto con valori di coda elevati è sconsigliabile per tutto l'arco della giornata, in quanto la formazione di una eccessiva coda renderebbe non gestibile la circolazione sia nell'impianto sia sulla linea a singolo binario, su cui avrebbe ripercussione. Una soluzione per rientrare in un valore accettabile di probabilità potrebbe essere quella di considerare, in uno sviluppo futuro, l'aggiunta di un binario di stazionamento all'impianto; in ogni caso, rimarrebbe vincolante, per la potenzialità, la gestione della linea afferente all'impianto, che è a singolo binario.

	PROGETTO DEFINITIVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI					
	RELAZIONE TECNICA DI ESERCIZIO	COMMESSA IA7K	LOTTO 00	CODIFICA D 16 RG	DOCUMENTO ES 00 01 001	REV. A

6. CONCLUSIONI

La presente relazione fornisce l'analisi, in termini di esercizio ferroviario, della realizzazione del collegamento ferroviario per l'aeroporto di Brindisi.

Dai risultati ottenuti si ottiene che l'aggiunta dei servizi regionali veloci non risulta essere critica né per la stazione di Brindisi né per Brindisi Aeroporto. Dall'analisi effettuata con l'aggiunta di servizi navetta ogni 30' si nota un significativo aumento del coefficiente di utilizzazione; tale valore di utilizzazione, sebbene non accettabile per tutto l'arco della giornata, può risultare ammissibile per limitate fasce orarie (ad esempio orari di punta).

Nel caso di Brindisi Aeroporto l'analisi con la teoria delle code evidenzia un'elevata probabilità di formazione della coda. Per limitati periodi di tempo, è accettabile l'ipotesi di un servizio navetta ogni 30 minuti oltre ai servizi Regionali; per mantenere, comunque, accettabili probabilità di formazione di coda è auspicabile non superare un servizio ogni 30 minuti, tra treni Regionali e servizi navetta (cioè 2 treni/ora per senso di marcia totali tra treni Regionali e servizi navetta).

Le considerazioni sull'esercizio riportate andranno, comunque, approfondite nella fase di definizione dell'orario al fine di garantire l'effettiva compatibilità con le circolazioni attualmente esistenti sulle linee oggetto di studio, in particolare sulla linea Bari – Lecce, anche dovuto al fatto dell'elevata eterotachicità dei servizi attualmente presenti e della loro assenza di cadenzamento.