

RTI Progettisti:



PROGETTO DEFINITIVO DELLA SECONDA LINEA TRANVIARIA DI BOLOGNA (TRATTO NORD LINEA VERDE)



Intervento finanziato con risorse
FSC 2014-2020 - Piano operativo della Città
metropolitana di Bologna
Delibera CIPE n.75/2017



STUDI SPECIALISTICI INGEGNERIA DI SISTEMA RELAZIONE DI ESERCIZIO

COMUNE DI BOLOGNA
SETTORE MOBILITA' SOSTENIBILE E INFRASTRUTTURE

IL DIRETTORE DEL SETTORE
ING. CLETO CARLINI

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
ING. GIANCARLO SGUBBI

IL DIRETTORE DELL'ESECUZIONE DEL CONTRATTO
ING. MIRKA RIVOLA

SEGRETERIA TECNICA
ING. BARBARA BARALDI
GEOM. AGNESE FERRO
ARCH. VIRGINIA BORRELLO

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

RESPONSABILE DI COMMESSA
ING. PAOLO MARCHETTI

COORDINATORE TECNICO
ING. ALESSANDRO PIAZZA

SISTEMA TRANVIARIO
ING. SANTI CAMINITI

ARCHITETTURA E INSERIMENTO URBANISTICO
ARCH. SEBASTIANO FULCI DE SARNO

OPERE A VERDE
ARCH. NICOLA CANTARELLI

OPERE STRUTTURALI
ING. STEFANO TORTELLA

SEGNALAMENTO E TELECOMUNICAZIONI
ING. ANGELA TORTORELLA

AMBIENTE
PROF. MATTEO MATTIOLI

SICUREZZA
ARCH. SERGIO MOSCHEO

ARCHEOLOGIA
DOTT. CRISTINA BIGAZZI

BIM MANAGER
GEOM. MIRKO CASAROLI

RESP. INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE
ING. SANTI CAMINITI

IMPIANTI TECNOLOGICI
ING. SIMONE VILLA

STUDI TRASPORTISTICI
ING. ANDREA SPINOSA

VIABILITA' INTERFERENTE E SOTTOSERVIZI
ING. PIETRO CAMINITI

IDRAULICA E IDROLOGIA
ING. ANDREA BENVENUTI

DEPOSITO
ING. GIORGIO COLETTI

ARMAMENTO
ING. MAURIZIO FALZEA

GEOLOGIA E GEOTECNICA
DOTT. GEOL. ANTONIO PAONE

TRAZIONE ELETTRICA
ING. DOMENICO D'APOLLONIO

IMPIANTI MECCANICI
ING. SALVATORE GIUA

COMMESSA		FASE		LOTTO		WBS		DISCIPLINA		TIPO		NUMERO		REV.	SCALA	NOME FILE					
B	3	8	1	C	D	X	0	0	S	T	M	X	X	X	R	T	0	2	A	---	B381C-D-X00-STM-XXX-RT-02-A

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
A	Ago. 2023	EMISSIONE	A. SPINOSA	A. SPINOSA	S. CAMINITI
B					
C					
D					

Indice della relazione

1. PREMESSA	2
2. DIMENSIONAMENTO DELLA VETTURA TIPO	2
3. DATI DI INPUT E CONDIZIONI AL CONTORNO DELLA SIMULAZIONE	3
3.1 LIMITI DI VELOCITÀ	3
3.2 TEMPI DI SOSTA ALLE FERMATE	3
3.3 PENDENZE LONGITUDINALI	3
3.4 EQUAZIONI DEL COMFORT DI MARCIA	4
3.5 CURVA CARATTERISTICA DI TRAZIONE DEL ROTABILE	4
4. SCENARIO DELLA SIMULAZIONE	5
5. RISULTATI DELLA SIMULAZIONE	7
5.1 PARAMETRI TECNICI	7
5.1.1 <i>Percorrenza in marcia tesa</i>	7
5.1.2 <i>Relazione tra velocità di marcia e raggi di curvatura</i>	8
5.1.3 <i>Tempi di attesa per mancata priorità semaforica</i>	8
5.1.4 <i>Margine di recupero in linea</i>	8
5.1.5 <i>Tempo di inversione ai terminali</i>	8
5.1.6 <i>Incremento dei tempi tecnici ai capolinea</i>	8
5.2 CALCOLO DEL TEMPO DI GIRO	8
6. OFFERTA DI SERVIZIO DI RETE	18
7. DIMENSIONAMENTO DEL PARCO ROTABILE	23

1. PREMESSA

La presente relazione riguarda il modello di esercizio della sezione Nord della seconda linea tramviaria di Bologna, denominata linea Verde, che collegherà Piazza dei Martiri a Corticella collegandosi in parte all'impianto della linea Rossa.

Completano il documento i seguenti **allegati grafici**:

- B381C-D-X00-TRS-XXX-DG-08-A Piano schematico della linea
- B381C-D-X00-TRS-XXX-DG-09-A Diagramma orario feriale (linee B, A1 e A2)

2. DIMENSIONAMENTO DELLA VETTURA TIPO

Per la simulazione dell'esercizio si assume una vettura tramviaria ordinaria a pianale ribassato con le seguenti caratteristiche:

Tensione di alimentazione	750 Vcc
Possibilità di marcia autonoma (pacchi batterie)	Per almeno 1.500 metri a pieno carico
Larghezza veicolo	2.400 mm
Larghezza in corrispondenza del pianale	Fino a 2.500 mm con sporgenza rampe
Lunghezza cassa	30-35 metri
Altezza massima (pantografo al massimo)	6.400 mm
Altezza del pianale dal p.d.f. (100% pianale ribassato)	350 mm
Scartamento	1.435 mm
Massa e tara	UNI EN 11174
Posti totali (a 4 passeggeri per m ² di superficie utile S1)	Minimo 200
Velocità massima	50 km/h
Accelerazione all'avviamento	Minimo 1,20 m/s ²
Decelerazione massima freno di servizio	Minimo 1,30 m/s ²
Pendenza massima superabile	Minimo 60‰
Raggio minimo percorribile in deposito	18 m
Raggio minimo percorribile in linea	20 m
Raggio minimo dei raccordi verticali concavi e convessi	300 m

3. DATI DI INPUT E CONDIZIONI AL CONTORNO DELLA SIMULAZIONE

Il modello del tracciato è schematizzato attraverso l'individuazione dei seguenti parametri di linea:

- limiti di velocità per tipo sede;
- tempi di sosta alle fermate;
- pendenze longitudinali;
- andamento planimetrico.

3.1 LIMITI DI VELOCITÀ

Ai sensi della norma UNI 8379:2000 sono assunti i seguenti valori di velocità limite a flusso libero e in servizio: sede promiscua: 50 km/h; sede promiscua riservata: 40 km/h; sede promiscua libera: 25 km/h. Sono inoltre assunti i seguenti limiti puntuali:

- Attraversamento intersezioni asservite: 25 km/h;
- Attraversamento comunicazioni: 15 km/h.

3.2 TEMPI DI SOSTA ALLE FERMATE

Il tempo di arresto nelle fermate è stato calcolato utilizzando la previsione dei saliti e discesi durante il servizio nell'ora di punta, dalle ore 7.30 alle 8.30. Per ogni direzione, alle fermate con meno di 1.000 saliti e discesi, è stato assegnato un tempo di permanenza ridotto, pari a 15 secondi; alle fermate con affluenza Q maggiore è assegnato un tempo di sosta pari a:

$$t_s = 20 \text{ s} + 2 * \ln (Q)$$

3.3 PENDENZE LONGITUDINALI

Il modello fa uso del profilo longitudinale di progetto tramite la posizione dei vertici altimetrici e le pendenze delle livellette adiacenti. Le figure seguenti mostrano l'andamento delle quote sui due binari del tracciato di progetto.

Per il binario sinistro si sono assunte le stesse pendenze e gli stessi vertici altimetrici del destro ma, ovviamente, da leggere nel verso di percorrenza opposto. La presenza di una pendenza longitudinale $i = \tan (\alpha)$ comporta una variazione del valore di accelerazione e frenatura pari alla componente dell'accelerazione di gravità g lungo la livelletta. Ne risulta che l'accelerazione e la frenatura varieranno di: $\Delta a_i = -g \sin(\alpha) \approx -g \tan(\alpha) = -g * i$ avendo convenzionalmente assunto il segno positivo per le livellette in salita e negativo per quelle in

discesa. Ovviamente Δa_i potrà assumere segno sia negativo, in salita, che positivo, in discesa, e quindi potrà aumentare o diminuire l'accelerazione e la frenatura del rotabile.

3.4 EQUAZIONI DEL COMFORT DI MARCIA

Altra limitazione alla velocità di percorrenza rispetto alla velocità massima possibile è data, indipendentemente da tutti gli altri vincoli, dal soddisfacimento dei parametri di comfort passeggeri. A tal fine si è individuata, per ogni curva planimetrica e sui tracciamenti di entrambe le vie, la massima velocità che soddisfa contemporaneamente le seguenti due condizioni di "accomodamento":

$$a_Q = \frac{v^2}{R} \leq 1,00 \text{ m/s}^2 \quad \text{lungo la curva a raggio costante } R$$

$$\frac{da_Q}{dt} = \frac{a_Q}{L_K} v \leq 0,40 \text{ m/s}^3 \quad \text{lungo i raccordi orizzontali di lunghezza } L_K$$

La presenza delle curve planimetriche influenza anche i valori di accelerazione e frenata del mezzo in marcia, dato che comporta un incremento della resistenza al moto. Per il calcolo della resistenza ρ_C al moto offerta dalle curve planimetriche si adotta la formulazione di Desdonits:

$$\rho_C = 0,500 \frac{s}{R}$$

con s e R espressi in metri, dato che nel caso di tracciato tranviari né la classifica formula per i tracciati ferroviari di Won Röckl né le Tabelle FS risultano compatibili con i raggi planimetrici di progetto. In questo caso lo scartamento vale $s = 1.435 \text{ mm}$ e si utilizza, per generalizzare l'espressione, la *forma* di Won Röckl:

$$\rho_C = \frac{a}{R - b}$$

avendo posto:

$$a = 0,500 s = 0,500 * 1.435 \text{ mm} * 10^{-3} \text{ m} = 0,717 \text{ m}$$

$$b = 0,000 \text{ m}$$

La resistenza ρ_C così calcolata equivale ad un incremento equivalente di pendenza in salita e quindi, come per la resistenza lungo le livellette, sia l'accelerazione che la frenatura varieranno di $\Delta a_c = -g * \rho_C$, sempre in decremento.

3.5 CURVA CARATTERISTICA DI TRAZIONE DEL ROTABILE

L'accelerazione del rotabile a carico normale viene assunta pari allo spunto nominale $a_{n,1}$ fino alla velocità soglia di 30 km/h dopo la quale diminuisce gradualmente. Approssimando il tratto

discendente con una funzione $\beta_a(v)$ quadratica normalizzata rispetto all'accelerazione $a_{n,1}$, si può esprimere l'accelerazione $a_d(v)$ di progetto del rotabile come:

$$a_d(v) = a_{n,1} * \beta_a(v)$$

dove $\beta_a(v) = av^2 + bv + c$

con $a = 0,00216 (m/s)^{-2}$; $b = -0,14100 (m/s)^{-1}$; $c = 2,225$

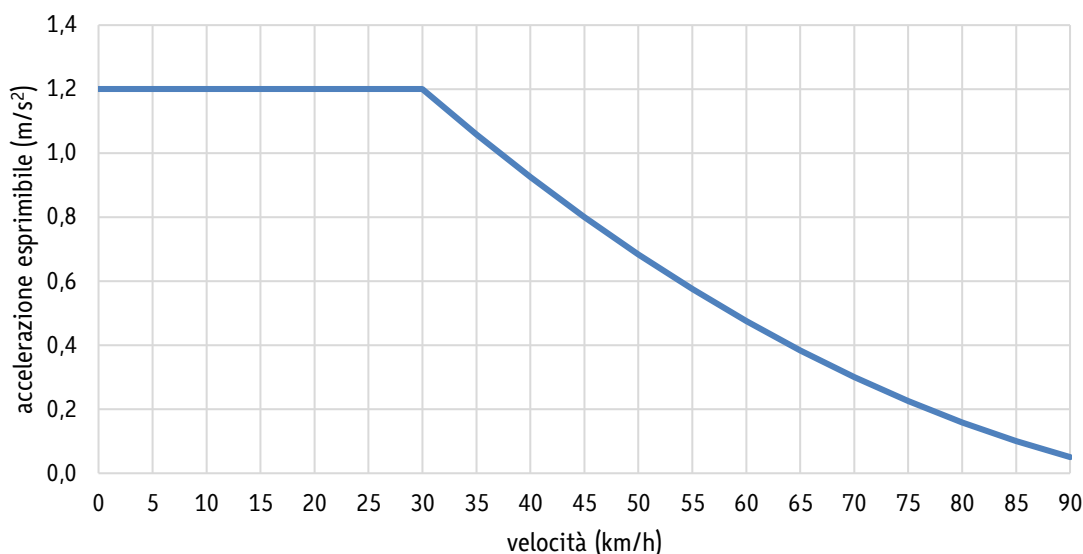


Figura 1 – Curva caratteristica di trazione

L'accelerazione di calcolo a_R viene ricavata, punto per punto, in base alla velocità del rotabile, della pendenza longitudinale i e della resistenza in curva ρ_C :

$$a_R = a_{n,1} * \beta_a(v) - (i + \rho_C)g$$

La frenatura è stata assunta costante in ogni condizione di velocità e pari a $f_{m,1} = 1,20 m/s^2$. Il valore della frenatura di calcolo f_R si ricava, poi, tenendo conto della pendenza longitudinale i e della resistenza in curva ρ_C :

$$f_R = f_{m,1} + (i + \rho_C)g$$

4. SCENARIO DELLA SIMULAZIONE

La simulazione assume l'esercizio completo della rete formata dagli impianti della Linea Rossa e della tratta Nord della Linea Verde. I servizi sono tre come rappresentato nella figura seguente: due sulla Linea Rossa e uno sulla Linea Verde.



Figura 2 – Rete dei servizi sulla rete integrata Linea Rossa e Linea Verde – tratto Nord

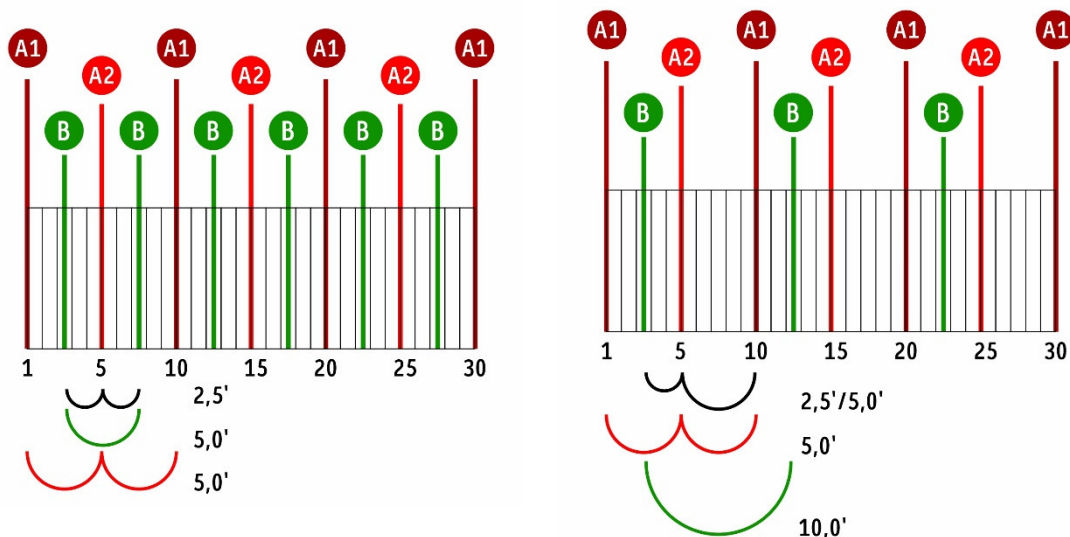


Figura 3 – Intertempi cumulati su via Indipendenza: a destra, in ora di punta si hanno passaggi ogni 10' su ciascuna delle linee A1 e A2 per un servizio integrato a 5'; il servizio della linea B è a 5' che porta l'intertempo minimo su via Indipendenza a 2,5'. In fascia di morbida il servizio A1/A2 resta invariato mentre la B scende a 10', con intertempo cumulato alternato 2,5'/5,0'.

5. RISULTATI DELLA SIMULAZIONE

5.1 PARAMETRI TECNICI

5.1.1 PERCORRENZA IN MARCIA TESA

La marcia tesa è il diagramma spazio-velocità che mostra l'andamento della percorrenza del veicolo tipo, dati i vincoli plano-altimetrici e di esercizio sul tracciato di progetto, i limiti di velocità che ne conseguono e le caratteristiche meccaniche del mezzo. Non corrisponde al tempo effettivo del servizio offerto agli utenti, ma al minimo tempo teorico di percorrenza del tracciato in assenza di servizio passeggeri (quindi con arresto alle fermate ma senza sosta alle stesse) e di interferenze esterne.

Ai fini del calcolo della velocità reale v_R , punto per punto vengono innanzitutto calcolate le velocità ipotizzando i tre possibili modi in cui può trovarsi il rotabile:

- in movimento a velocità costante v_o pari alla massima consentita nel tratto;
- in fase di accelerazione $a_R(v)$, velocità puntuale pari a v_A ;
- rotabile in fase di frenatura f_R , velocità puntuale pari a v_F ;
- rotabile fermo, con $v_R = 0$.

Tra le tre velocità v_o , v_A e v_F si individua la minore come velocità reale v_R e quindi anche il modo in cui si trova il rotabile in quel punto, di velocità costante, in accelerazione o in frenatura, e quindi il tempo necessario a percorrere lo spazio tra due punti successivi.

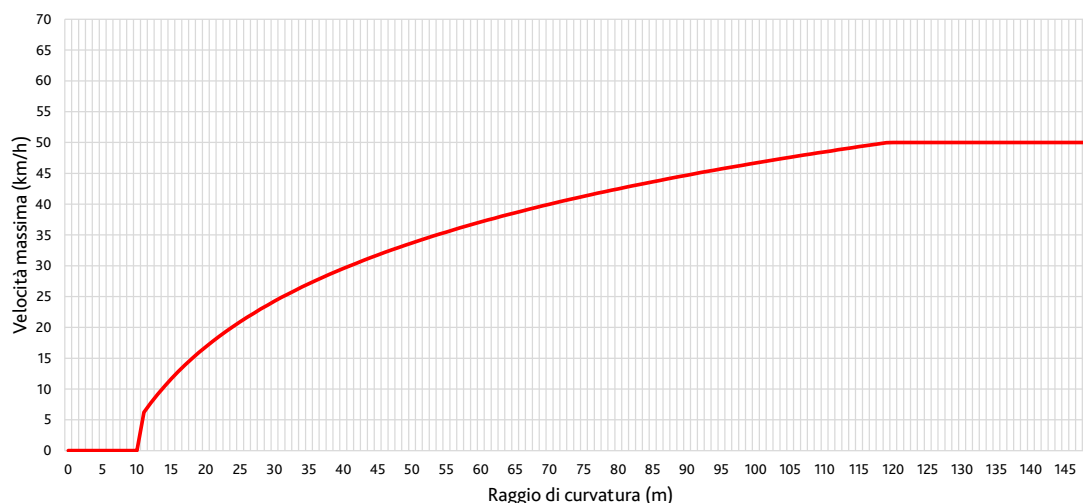


Figura 4 - Relazione tra raggio di curvatura del tracciato e velocità massima del mezzo

5.1.2 RELAZIONE TRA VELOCITÀ DI MARCIA E RAGGI DI CURVATURA

Sulla scorta delle equazioni di cui al precedente paragrafo 3, per quanto concerne il legame tra velocità massima e raggio planimetrico la correlazione è la seguente:

$$v_{MAX} = 19 \cdot \ln(R) - 41$$

5.1.3 TEMPI DI ATTESA PER MANCATA PRIORITÀ SEMAFORICA

Nel calcolo del tempo di giro si è tenuto conto di un tempo di sosta agli incroci semaforizzati che modella le perdite di fase semaforica ed i conseguenti ritardi, definito come il tempo massimo di sosta nel caso in cui il tram perda la priorità.

5.1.4 MARGINE DI RECUPERO IN LINEA

Si considera un tempo aggiuntivo per garantire la regolarità del servizio e recuperare eventuali ritardi corrispondente a 5 secondi per chilometro di linea percorso a verso di marcia.

5.1.5 TEMPO DI INVERSIONE AI TERMINALI

Per entrambi i terminali, il tempo minimo di sosta deve prevedere la discesa dei passeggeri, l'inversione della cabina, la salita passeggeri (150 secondi), al quale si aggiunge una riserva aggiuntiva di perditempo minimo pari a 30 secondi dovuto al passaggio sullo scambio in deviazione immediatamente prima o dopo l'attestazione.

5.1.6 INCREMENTO DEI TEMPI TECNICI AI CAPOLINEA

È necessario aumentare i tempi di sosta al capolinea, per poter garantire un necessario polmone di secondi atto ad assicurare la possibilità per il tram di ripartire in orario, anche se arrivato in lieve ritardo al capolinea. L'esperienza conferma che gli incrementi di tempo al capolinea non possono essere inferiori a 180 secondi per linea (somma dei due capolinea), pena un eccessivo propagarsi dei ritardi e conseguenti irregolarità di servizio.

5.2 CALCOLO DEL TEMPO DI GIRO

Il tempo di giro è calcolato come la somma dei contributi esposti nei paragrafi precedenti:

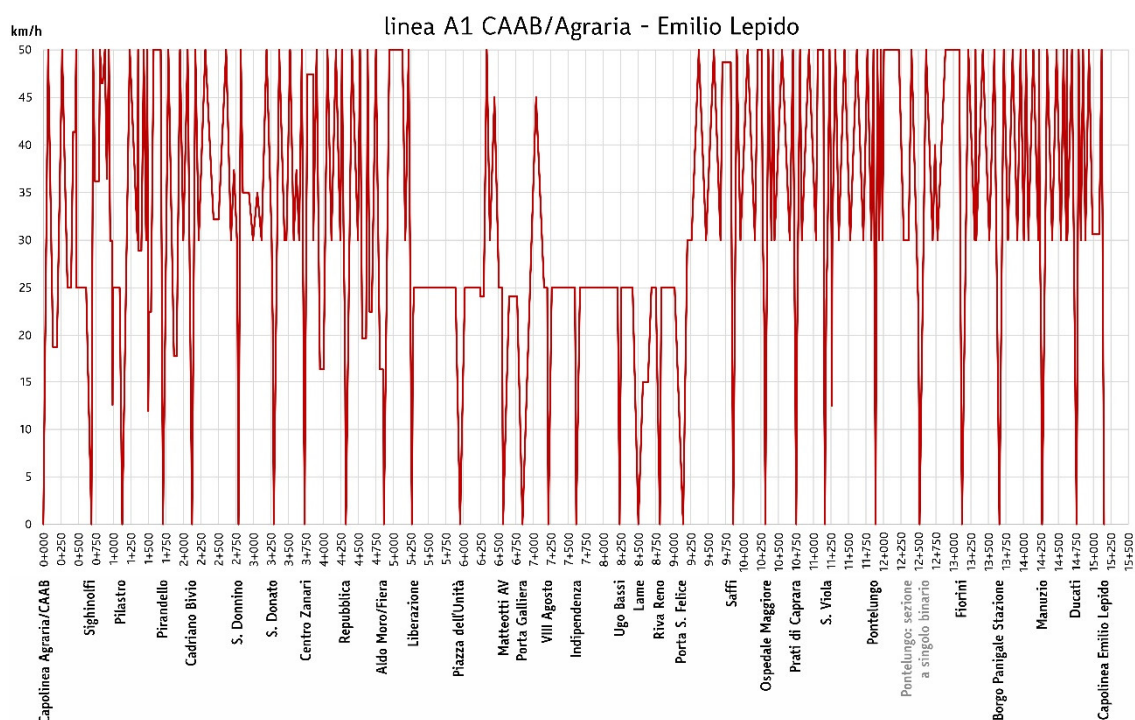
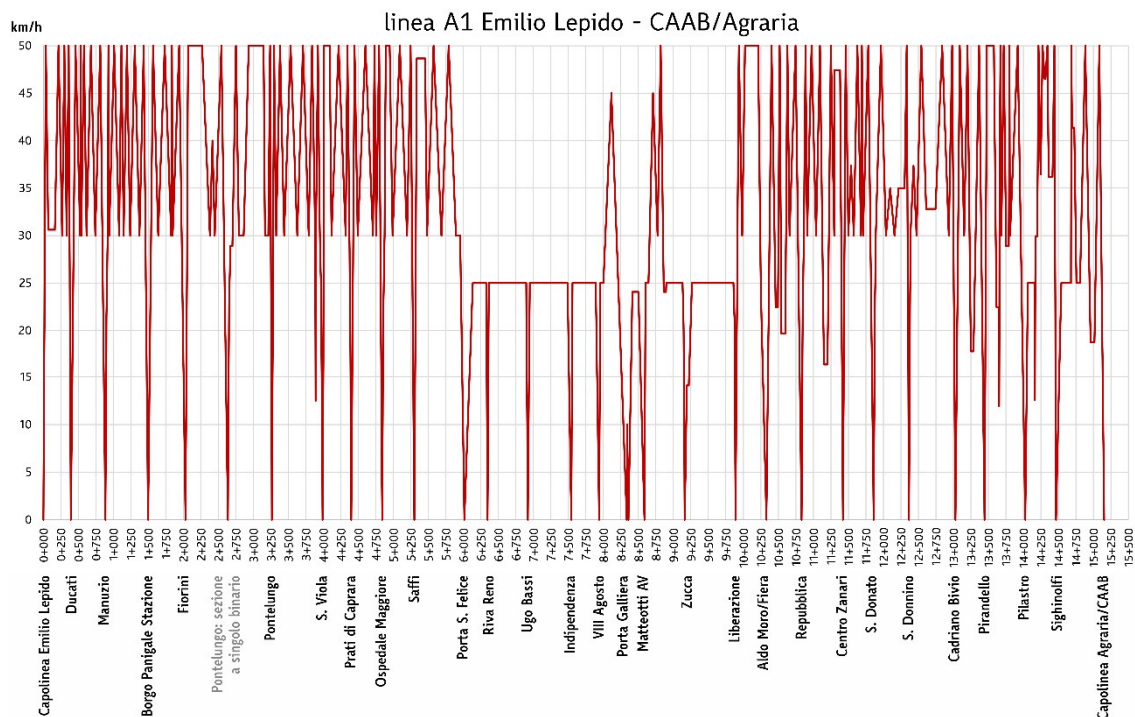
- Tempo di marcia tesa;
- Tempi di sosta alle fermate;
- Perditempo agli incroci semaforizzati;
- Tempi di inversione ai terminali;
- Allungamento di regolarità in linea ed ai capolinea.

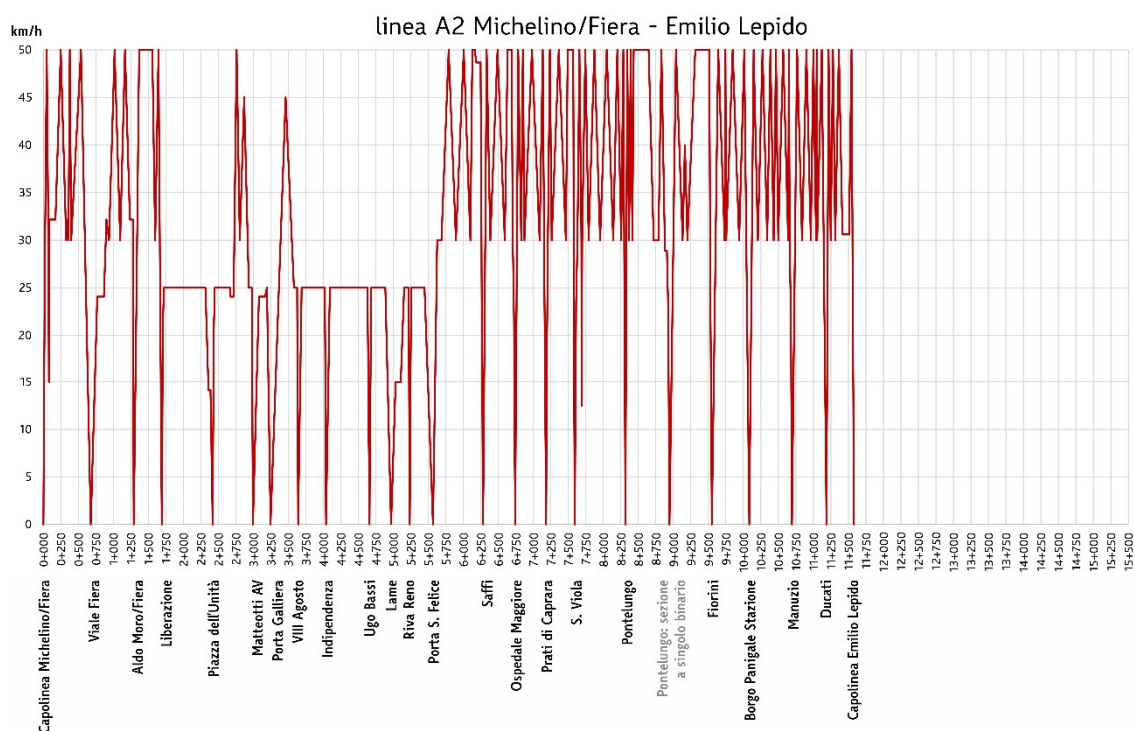
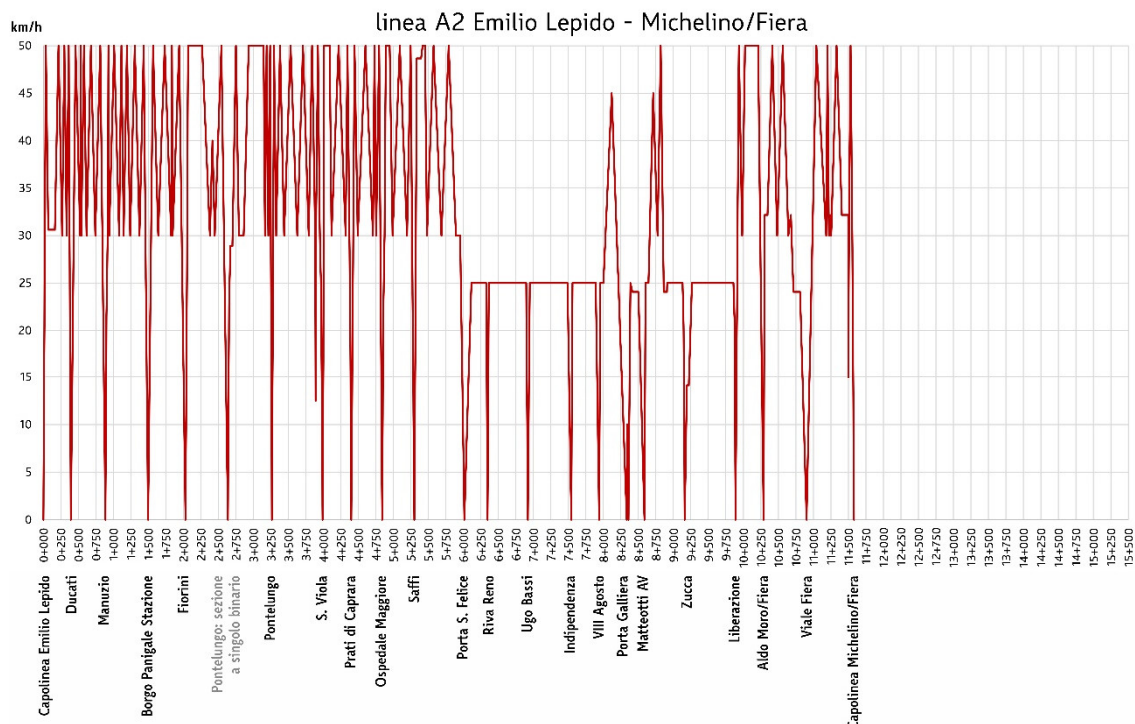
La tabella seguente dettaglia i parametri dell'esercizio per tutte le tre linee della rete tranviaria di Bologna.

Tabella 1 – Tabella riassuntiva dei risultati della simulazione

<i>Parametro</i>	<i>Unità</i>	<i>Linea A1</i>	<i>Linea A2</i>	<i>Linea B</i>	<i>Totale</i>
Lunghezza totale di esercizio	m	15.707	11.714	6.914	34.335
Numero di fermate	N.	29	24	16	45
Tempo lordo di viaggio tra i due terminali	minuti	63,90	47,40	28,38	
Velocità commerciale	km/h	14,75	14,83	14,62	
Tempo minimo di sosta al capolinea	minuti	3,0	3,0	3,0	
Allungamento di regolarità ai capolinea	minuti	1,5	1,5	1,5	
Tempo di giro	minuti	132,3	99,3	61,3	

Di seguito i diagrammi per ciascuna linea, nelle due direzioni del binario di destra (andata) e di sinistra (ritorno) e le tabelle di dettaglio.





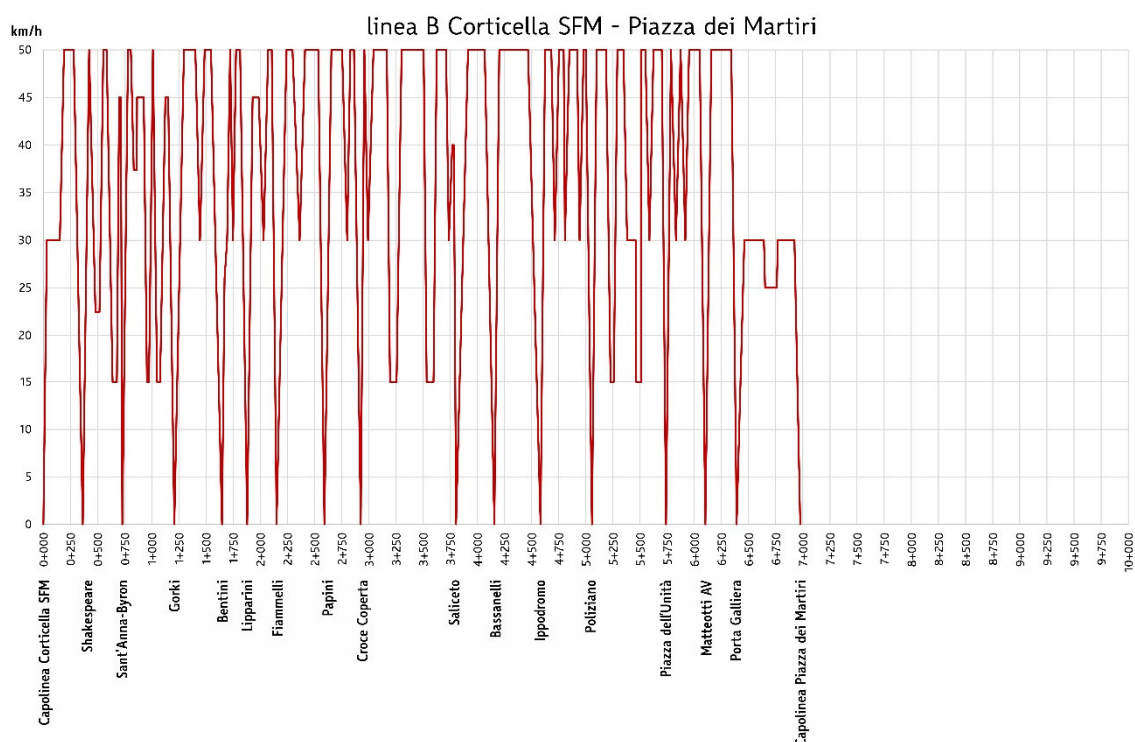
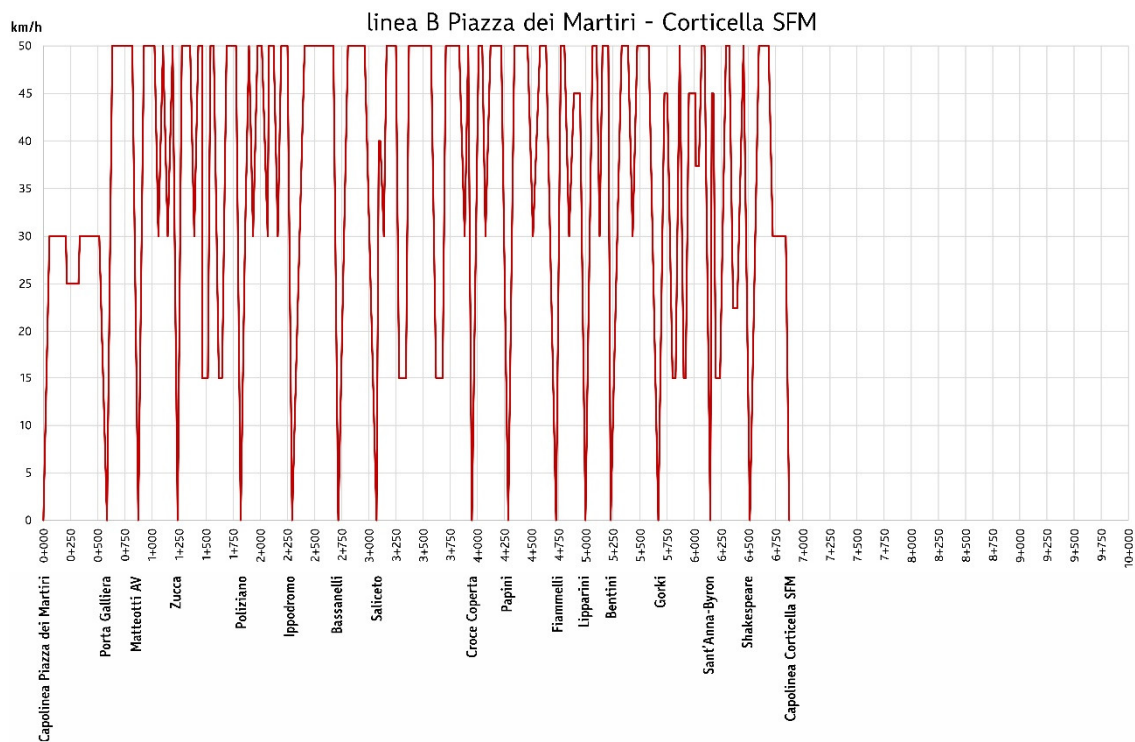


Tabella 2 – Tempi di esercizio linea A1 binario destro

Da	A	Partenza	Arrivo	Distanza (m)	Tempi (secondi)				Totale
					Netto di marcia tesa	Fermate e intersezioni	Allungamento di regolarità		
0	394	Capolinea Emilio Lepido	Fermata Villaggio Ina	394	93,5	15,0	2,0	110,5	00:01:30
394	868	Fermata Villaggio Ina	Fermata Ducati	474	105,8	15,0	2,5	123,2	00:02:13
868	1.495	Fermata Ducati	Fermata Manuzio	627	126,9	15,0	3,0	144,9	00:02:56
1.495	2.031	Fermata Manuzio	Fermata Borgo Panigale Stazione	536	99,8	15,0	2,7	117,4	00:01:26
2.031	2.636	Fermata Borgo Panigale Stazione	Fermata Fiorini	605	95,2	15,0	3,0	113,2	00:01:12
2.636	3.268	Fermata Fiorini	Fermata Pontelungo	632	121,2	15,0	3,1	139,4	00:02:23
3.268	3.981	Fermata Pontelungo	Fermata S. Viola	713	141,2	15,0	3,6	159,8	00:02:46
3.981	4.400	Fermata S. Viola	Fermata Prati di Caprara	419	82,4	15,0	2,1	99,4	00:01:26
4.400	4.838	Fermata Prati di Caprara	Fermata Ospedale Maggiore	438	92,9	15,0	2,2	110,1	00:01:05
4.838	5.301	Fermata Ospedale Maggiore	Fermata Saffi	463	98,2	15,0	2,3	115,5	00:01:28
5.301	6.018	Fermata Saffi	Fermata Porta S. Felice	717	122,2	15,0	3,6	140,8	00:02:48
6.018	6.344	Fermata Porta S. Felice	Fermata Riva Reno	326	100,1	15,0	1,7	116,8	00:01:46
6.344	6.922	Fermata Riva Reno	Fermata Ugo Bassi	578	158,8	15,0	2,9	176,7	00:02:41
6.922	7.541	Fermata Ugo Bassi	Fermata Indipendenza	619	169,9	15,0	3,1	188,0	00:03:02
7.541	7.942	Fermata Indipendenza	Fermata VIII Agosto	401	116,0	15,0	2,0	133,0	00:02:00
7.942	8.337	Fermata VIII Agosto	Fermata Porta Galliera	395	92,6	40,0	2,0	134,6	00:02:33
8.337	8.668	Fermata Porta Galliera	Fermata Matteotti/AV	331	91,3	35,0	1,3	127,6	00:02:34
8.668	9.152	Fermata Matteotti/AV	Fermata Zucca	484	115,5	15,0	2,9	133,4	00:02:23
9.152	9.891	Fermata Zucca	Fermata Liberazione	739	137,6	15,0	3,6	156,2	00:02:13
9.891	10.284	Fermata Liberazione	Fermata Aldo Moro/Fiera	393	64,6	15,0	2,0	81,6	00:01:34
10.284	10.821	Fermata Aldo Moro/Fiera	Fermata Repubblica	537	126,0	15,0	2,7	143,7	00:02:41
10.821	11.421	Fermata Repubblica	Fermata Centro Zanardi	600	127,6	15,0	3,0	145,6	00:02:33
11.421	11.860	Fermata Centro Zanardi	Fermata S. Donato	439	98,2	15,0	2,2	115,4	00:01:24
11.860	12.361	Fermata S. Donato	Fermata S. Donnino	501	101,7	15,0	2,5	119,3	00:01:15
12.361	13.024	Fermata S. Donnino	Fermata Cadriano Bivio	663	112,2	15,0	3,3	130,5	00:02:32
13.024	13.463	Fermata Cadriano Bivio	Fermata Pirandello	439	91,7	15,0	2,1	108,8	00:01:50
13.463	14.024	Fermata Pirandello	Fermata Pilastro	561	124,2	15,0	2,9	142,1	00:02:07
14.024	14.464	Fermata Pilastro	Fermata Sighinolfi	440	98,6	15,0	2,2	115,8	00:01:46
14.464	15.156	Fermata Sighinolfi	Capolinea Facoltà di Agraria	692	113,6	0,0	3,4	117,0	00:01:02
Linea A1 binario destro				15.156,0	3.219,6	465,0	75,8	3.760,4	01:02:23

Tabella 3 – Tempi di esercizio linea A1, binario sinistro

Da	A	Partenza	Arrivo	Distanza (m)	Tempi (secondi)			
					Netto di marcia tesa	Fermate e intersezioni	Allungamento di regolarità	Totale
0	695	Capolinea Facoltà di Agraria	Fermata Sighinolfi	695	114,0	15,0	3,4	132,5
695	1.132	Fermata Sighinolfi	Fermata Pilastro	437	98,1	15,0	2,2	115,3
1.132	1.693	Fermata Pilastro	Fermata Pirandello	561	132,3	15,0	2,9	150,2
1.693	2.136	Fermata Pirandello	Fermata Cadriano Bivio	443	86,9	15,0	2,1	104,0
2.136	2.800	Fermata Cadriano Bivio	Fermata S. Donnino	664	128,2	15,0	3,3	146,5
2.800	3.300	Fermata S. Donnino	Fermata S. Donato	500	90,1	15,0	2,5	107,6
3.300	3.736	Fermata S. Donato	Fermata Centro Zanardi	436	96,1	15,0	2,2	113,3
3.736	4.323	Fermata Centro Zanardi	Fermata Repubblica	587	136,1	15,0	3,0	154,0
4.323	4.878	Fermata Repubblica	Fermata Aldo Moro/Fiera	555	128,0	15,0	2,7	145,7
4.878	5.361	Fermata Aldo Moro/Fiera	Fermata Liberazione	483	74,1	15,0	2,0	91,1
5.361	6.125	Fermata Liberazione	Fermata Piazza dell'Unità	764	120,0	0,0	3,6	123,6
6.125	6.598	Fermata Piazza dell'Unità	Fermata Matteotti/AV	473	177,5	45,0	3,3	225,7
6.598	7.326	Fermata Matteotti/AV	Fermata Porta Galliera	806	199,8	75,0	3,2	278,0
7.326	7.785	Fermata Porta Galliera	Fermata VIII Agosto	728	117,5	15,0	2,0	134,4
7.785	8.340	Fermata VIII Agosto	Fermata Indipendenza	459	81,7	15,0	2,0	98,7
8.340	8.821	Fermata Indipendenza	Fermata Ugo Bassi	555	114,0	15,0	3,1	132,1
8.821	9.123	Fermata Ugo Bassi	Fermata Lama	481	107,4	15,0	2,3	124,6
9.123	9.438	Fermata Lama	Fermata Riva Reno	302	55,6	15,0	2,0	72,6
9.438	10.155	Fermata Riva Reno	Fermata Porta S. Felice	315	69,0	15,0	1,7	85,6
10.155	10.670	Fermata Porta S. Felice	Fermata Saffi	717	141,5	15,0	3,6	160,1
10.670	10.998	Fermata Saffi	Fermata Ospedale Maggiore	515	90,8	15,0	2,3	108,1
10.998	11.475	Fermata Ospedale Maggiore	Fermata Prati di Caprara	328	88,4	15,0	2,2	105,6
11.475	12.188	Fermata Prati di Caprara	Fermata S. Viola	477	104,4	15,0	2,1	121,4
12.188	12.821	Fermata S. Viola	Fermata Pontelungo	713	124,1	15,0	3,6	142,7
12.821	13.426	Fermata Pontelungo	Fermata Fiorini	633	116,7	15,0	3,1	134,9
13.426	14.023	Fermata Fiorini	Fermata Borgo Panigale Stazione	605	110,0	15,0	3,0	128,1
14.023	14.589	Fermata Borgo Panigale Stazione	Fermata Manuzio	597	84,1	15,0	2,7	101,7
14.589	15.064	Fermata Manuzio	Fermata Ducati	566	132,4	15,0	3,0	150,4
15.064	15.452	Fermata Ducati	Fermata Villaggio Ina	475	105,8	15,0	2,5	123,2
		Fermata Villaggio Ina	Capolinea Emilio Lepido	388	94,0	0,0	2,0	95,9
Linea A1 binario sinistro				16.258	3.318,4	510,0	79,5	3.907,8

01:05:49

Tabella 4 – Tempi di esercizio linea A2, binario destro

Da	A	Partenza	Arrivo	Distanza (m)	Tempi			
					Netto di marcia tesa	Fermate e intersezioni	Allungamento di regolarità	Totale
0	394	Capolinea Emilio Lepido	Fermata Villaggio Ina	394	93,2	15,0	2,0	110,2 00:01:10
394	868	Fermata Villaggio Ina	Fermata Ducati	474	91,6	15,0	2,5	109,1 00:01:05
868	1.495	Fermata Ducati	Fermata Manuzio	627	109,9	15,0	3,0	128,0 00:02:58
1.495	2.031	Fermata Manuzio	Fermata Borgo Panigale Stazione	536	80,5	15,0	2,7	98,2 00:01:10
2.031	2.636	Fermata Borgo Panigale Stazione	Fermata Fiorini	605	125,5	15,0	3,0	143,5 00:02:30
2.636	3.268	Fermata Fiorini	Fermata Pontelungo	632	126,7	15,0	3,1	144,8 00:02:50
3.268	3.981	Fermata Pontelungo	Fermata S. Viola	713	161,3	15,0	3,6	179,9 00:02:55
3.981	4.400	Fermata S. Viola	Fermata Prati di Caprara	419	83,5	15,0	2,1	100,6 00:01:34
4.400	4.838	Fermata Prati di Caprara	Fermata Ospedale Maggiore	438	78,4	15,0	2,2	95,6 00:01:33
4.838	5.301	Fermata Ospedale Maggiore	Fermata Saffi	463	90,8	15,0	2,3	108,1 00:01:06
5.301	6.018	Fermata Saffi	Fermata Porta S. Felice	717	135,8	15,0	3,6	154,4 00:02:24
6.018	6.344	Fermata Porta S. Felice	Fermata Riva Reno	326	66,1	15,0	1,7	82,8 00:01:45
6.344	6.922	Fermata Riva Reno	Fermata Ugo Bassi	578	99,1	15,0	2,9	117,0 00:01:00
6.922	7.541	Fermata Ugo Bassi	Fermata Indipendenza	619	137,9	15,0	3,1	156,0 00:02:02
7.541	7.942	Fermata Indipendenza	Fermata VIII Agosto	401	80,7	15,0	2,0	97,7 00:01:42
7.942	8.337	Fermata VIII Agosto	Fermata Porta Galliera	395	95,7	40,0	2,0	137,7 00:02:42
8.337	8.668	Fermata Porta Galliera	Fermata Matteotti/AV	331	80,4	35,0	1,3	116,7 00:01:42
8.668	9.152	Fermata Matteotti/AV	Fermata Zucca	484	110,7	15,0	2,9	128,5 00:02:32
9.152	9.891	Fermata Zucca	Fermata Liberazione	739	114,0	15,0	3,6	132,7 00:02:40
9.891	10.284	Fermata Liberazione	Fermata Aldo Moro/Fiera	393	90,0	15,0	2,0	107,0 00:01:00
10.284	10.908	Fermata Aldo Moro/Fiera	Fermata Viale Fiera	624	115,6	15,0	3,1	133,6 00:02:37
10.908	11.574	Fermata Viale Fiera	Capolinea Fiera Michelino	666	149,6	0,0	3,4	153,0 00:02:58
Linea A2 binario destro				11.574	2.317,2	360,0	57,9	2.735,1 00:45:06

Tabella 5 - Tempi di esercizio linea A2, binario sinistro

Da	A	Partenza	Arrivo	Distanza (m)	Tempi				Totale
					Netto di marcia tesa	Fermate e intersezioni	Allungamento di regolarità		
0	658	Capolinea Fiera Michelino	Fermata Viale Fiera	658	178,3	15,0	3,4	196,7	00:03:40
658	1.279	Fermata Viale Fiera	Fermata Aldo Moro/Fiera	621	120,5	30,0	3,1	153,6	00:02:35
1.279	1.762	Fermata Aldo Moro/Fiera	Fermata Liberazione	483	74,1	15,0	2,0	91,1	00:01:07
1.762	2.526	Fermata Liberazione	Fermata Piazza dell'Unità	764	134,9	15,0	4,0	153,9	00:02:51
2.526	2.999	Fermata Piazza dell'Unità	Fermata Matteotti/AV	473	162,6	30,0	2,9	195,6	00:03:33
2.999	3.332	Fermata Matteotti/AV	Fermata Porta Galliera	333	80,8	60,0	1,3	142,0	00:02:01
3.332	3.727	Fermata Porta Galliera	Fermata VIII Agosto	395	117,5	15,0	2,0	134,4	00:02:26
3.727	4.186	Fermata VIII Agosto	Fermata Indipendenza	459	81,7	15,0	2,0	98,7	00:01:39
4.186	4.741	Fermata Indipendenza	Fermata Ugo Bassi	555	114,0	15,0	3,1	132,1	00:02:07
4.741	5.222	Fermata Ugo Bassi	Fermata Lama	481	107,4	15,0	2,3	124,6	00:02:38
5.222	5.524	Fermata Lama	Fermata Riva Reno	302	55,6	15,0	2,0	72,6	00:01:33
5.524	5.839	Fermata Riva Reno	Fermata Porta S. Felice	315	69,0	15,0	1,7	85,6	00:01:38
5.839	6.556	Fermata Porta S. Felice	Fermata Saffi	717	141,5	15,0	3,6	160,1	00:02:05
6.556	7.071	Fermata Saffi	Fermata Ospedale Maggiore	515	90,8	15,0	2,3	108,1	00:01:08
7.071	7.399	Fermata Ospedale Maggiore	Fermata Prati di Caprara	328	88,4	15,0	2,2	105,6	00:01:33
7.399	7.876	Fermata Prati di Caprara	Fermata S. Viola	477	104,4	15,0	2,1	121,4	00:02:25
7.876	8.589	Fermata S. Viola	Fermata Pontelungo	713	124,1	15,0	3,6	142,7	00:02:41
8.589	9.222	Fermata Pontelungo	Fermata Fiorini	633	116,7	15,0	3,1	134,9	00:02:53
9.222	9.827	Fermata Fiorini	Fermata Borgo Panigale Stazione	605	110,0	15,0	3,0	128,1	00:02:03
9.827	10.424	Fermata Borgo Panigale Stazione	Fermata Manuzio	597	84,1	15,0	2,7	101,7	00:01:44
10.424	10.990	Fermata Manuzio	Fermata Ducati	566	132,4	15,0	3,0	150,4	00:02:26
10.990	11.465	Fermata Ducati	Fermata Villaggio Ina	475	105,8	15,0	2,5	123,2	00:02:13
11.465	11.853	Fermata Villaggio Ina	Capolinea Emilio Lepido	388	94,0	0,0	2,0	95,9	00:01:55
Linea A2 binario sinistro				11.853	2.488,4	405,0	59,7	2.953,1	00:49:05

Tabella 6 - Tempi di esercizio linea B, binario destro

Da	A	Partenza	Arrivo	Distanza (m)	Tempi				Totale
					Netto di marcia tesa	Fermate e intersezioni	Allungamento di regolarità		
0	650	Capolinea Piazza dei Martiri	Fermata Galliera	650	109,5	20,0	3,1	132,7	00:02:39
650	981	Fermata Galliera	Fermata Matteotti AV	331	57,1	40,0	1,3	98,4	00:01:23
981	1.465	Fermata Matteotti AV	Fermata Zucca	484	83,2	15,0	1,8	100,1	00:01:03
1.465	1.849	Fermata Zucca	Fermata Poliziano	384	131,9	55,0	2,9	189,8	00:03:48
1.849	2.288	Fermata Poliziano	Fermata Ippodromo	439	104,5	15,0	2,4	121,9	00:02:54
2.288	2.728	Fermata Ippodromo	Fermata Bassanelli	440	69,5	15,0	2,1	86,7	00:01:40
2.728	3.081	Fermata Bassanelli	Fermata Saliceto	353	64,4	15,0	1,8	81,1	00:01:08
3.081	3.897	Fermata Saliceto	Fermata Della Croce Coperta	816	170,7	15,0	4,4	190,1	00:03:07
3.897	4.226	Fermata Della Croce Coperta	Fermata Papini	329	72,2	15,0	1,7	88,8	00:01:49
4.226	4.665	Fermata Papini	Fermata Fiammelli	439	79,7	15,0	2,2	97,0	00:01:57
4.665	4.940	Fermata Fiammelli	Fermata Lipparini	275	67,6	15,0	1,4	83,9	00:01:55
4.940	5.180	Fermata Lipparini	Fermata Bentini	240	69,5	15,0	1,2	85,6	00:01:37
5.180	5.618	Fermata Bentini	Fermata Gorki	438	79,7	15,0	2,2	96,9	00:01:56
5.618	6.120	Fermata Gorki	Fermata Sant'Anna/Byron	502	118,3	15,0	2,4	135,7	00:02:44
6.120	6.446	Fermata Sant'Anna/Byron	Fermata Shakespeare	326	93,1	15,0	1,8	109,9	00:01:52
6.446	6.875	Fermata Shakespeare	Capolinea Corticella SFM	429	54,2	0,0	1,8	56,1	00:00:03
Linea B binario sinistro				6.875	1.425,3	295,0	34,4	1.754,7	00:29:41

Tabella 7 - Tempi di esercizio linea B, binario sinistro

Da	A	Partenza	Arrivo	Distanza (m)	Tempi				Totale
					Netto di marcia tesa	Fermate e intersezioni	Allungamento di regolarità		
0	429	Capolinea Corticella SFM	Fermata Shakespeare	429,0	59,4	0,0	2,2	61,6	00:01:33
429	948	Fermata Shakespeare	Fermata Sant'Anna/Byron	519,0	90,6	15,0	2,0	107,6	00:01:34
948	1.437	Fermata Sant'Anna/Byron	Fermata Gorki	489,0	113,3	15,0	2,4	130,7	00:02:44
1.437	1.877	Fermata Gorki	Fermata Bentini	440,0	74,7	15,0	2,2	91,9	00:01:56
1.877	2.117	Fermata Bentini	Fermata Lipparini	240,0	64,5	15,0	1,2	80,6	00:01:37
2.117	2.390	Fermata Lipparini	Fermata Fiammelli	273,0	62,6	15,0	1,4	78,9	00:01:55
2.390	2.830	Fermata Fiammelli	Fermata Papini	440,0	74,7	15,0	2,2	92,0	00:01:57
2.830	3.157	Fermata Papini	Fermata Della Croce Coperta	327,0	67,2	15,0	1,7	83,8	00:01:49
3.157	3.975	Fermata Della Croce Coperta	Fermata Saliceto	818,0	165,7	15,0	4,4	185,1	00:03:07
3.975	4.329	Fermata Saliceto	Fermata Bassanelli	354,0	59,4	15,0	1,8	76,1	00:01:08
4.329	4.769	Fermata Bassanelli	Fermata Ippodromo	440,0	64,5	15,0	2,1	81,7	00:01:40
4.769	5.236	Fermata Ippodromo	Fermata Poliziano	467,0	99,5	15,0	2,4	116,9	00:01:54
5.236	5.504	Fermata Poliziano	Fermata Piazza dell'Unità	268,0	103,6	55,0	1,7	160,3	00:02:20
5.504	5.978	Fermata Piazza dell'Unità	Fermata Matteotti AV	474,0	86,3	15,0	2,4	103,6	00:01:38
5.978	6.311	Fermata Matteotti AV	Fermata Galliera	333,0	57,9	15,0	1,7	74,6	00:01:33
6.311	6.953	Fermata Galliera	Capolinea Piazza dei Martiri	642,0	106,9	15,0	3,2	125,2	00:02:09
Linea B binario sinistro				6.953,0	1.350,9	265,0	34,8	1.650,7	00:27:40

6. OFFERTA DI SERVIZIO DI RETE

Il modello di esercizio precedentemente descritto prevede per la nuova linea B 161 corse per giorno feriale per direzione che, sulla modulazione per i diversi periodi dell'anno di cui alla successiva tabella 10 portano a una produzione complessiva di 701.332 tram km anno. La tabella 8 riassume i dati dell'offerta di servizio per la linea B.

Tabella 8 – Offerta di servizio per la nuova linea B

Parametro	linea B
Lunghezza totale della linea (m)	6.914
Numero di fermate	17
Distanza media tra le fermate	432
Tempo di viaggio tra i due capolinea (minuti)	28,4
Velocità commerciale (km/h)	14,6
Tempo di giro (minuti)	61,3
Frequenza di servizio (minuti)	5,0
Posti offerti per senso di marcia (in ora di punta)	2.400
Flotta di servizio	12
Vetture di ricambio in caso di fuori-linea per manutenzione	2
Totale flotta	14
Posti km in ora di punta	33.187
Vetture km in ora di punta	151
Corse per giorno feriale scolastico per direzione	161
Giorni anno equivalenti di pieno servizio	342,74
Vetture km anno	746.325
km anno per vettura	53.309

La tabella 9 riassume i dati dell'offerta di servizio per le linee A1 e A2 in servizio sull'impianto della linea Rossa mentre le tabelle 10 e 11 dettagliano la modulazione dell'offerta per il venerdì (servizio serale potenziato), i fine settimana e i festivi del periodo scolastico e non scolastico.

Tabella 9 - Offerta di servizio per le linee A1 e A2 (linea Rossa)

Parametro	linea A1	linea A2	Tratta comune
Lunghezza totale della linea (m)	15.707	11.714	10.430
Numero di fermate	30	25	20
Distanza media tra le fermate	507	451	497
Tempo di viaggio tra i due capolinea (minuti)	63,9	47,4	
Velocità commerciale (km/h)	14,8	14,8	
Tempo di giro (minuti)	132,3	99,3	
Frequenza di servizio (minuti)	10,0	10,0	5,0
Posti offerti per senso di marcia (in ora di punta)	1.200	1.200	2.400
Flotta di servizio	13	9	22
Vetture di ricambio in caso di fuori-linea per manutenzione	2	2	4
Totale flotta	15	11	26
Posti km in ora di punta	37.697	28.114	65.810
Vetture km in ora di punta	188	141	329
Corse per giorno feriale scolastico per direzione	108	107	215
Giorni anno equivalenti di pieno servizio	342,74	342,74	685
Vetture km anno	1.110.736	808.055	1.918.791
km anno per vettura	74.049	73.460	73.800

Tabella 10 – Modulazione del servizio sulle varie tipologie di giornata dell’anno per la linea B (linea Verde)

Fascia oraria	Intervallo orario (ore)	Lunedì-Giovedì scolastici			Venerdì scolastico			Sabato			Domenica e festivi			Feriale non scolastico		
		Intertempo di progetto (minuti)	Corse per direzione (numero)	Corse totali (numero)	Intertempo di progetto (minuti)	Corse per direzione (numero)	Corse totali (numero)	Intertempo di progetto (minuti)	Corse per direzione (numero)	Corse totali (numero)	Intertempo di progetto (minuti)	Corse per direzione (numero)	Corse totali (numero)	Intertempo di progetto (minuti)	Corse per direzione (numero)	Corse totali (numero)
5:30-6:30	1,00	10	6	12	10	6	12	20	3	6	20	3	6	10	6	12
6:30-9:30	3,00	5	36	72	5	36	72	7,5	24	48	10	18	36	5	36	72
9:30:16:30	7,00	10	42	84	10	42	84	15	28	56	10	42	84	10	42	84
16:30-20:30	4,00	5	48	96	5	48	96	7,5	32	64	10	24	48	5	48	96
20:30-01:30	5,00	10	29	58	7,5	40	80	7,5	40	80	20	15	30	10	30	60
Totale sul giorno		-	161	322	-	172	344	-	127	254	-	102	204	-	162	324
Percorrenze			1.113,2	2.226,3		1.189,2	2.378,4		878,1	1.756,2		705,2	1.410,5		1.120,1	2.240,1
Giorni anno			158		36		52		59		60					
Totale sull'anno		-	25.438	50.876	-	6.192	12.384	-	6.604	13.208	-	6.018	12.036	-	9.720	19.440
			53.972	107.944												
Percorrenze			373.162,4	746.324,8												

Sviluppo servizio

6,914

 km

Tabella 11 - Modulazione del servizio sulle varie tipologie di giornata dell'anno per la linea A1 Borgo Panigale – Facoltà di Agraria (linea Rossa)

Fascia oraria	Intervallo orario (ore)	Lunedì-Giovedì scolastici			Venerdì scolastico			Sabato			Domenica e festivi			Feriale non scolastico		
		Intertempo di progetto (minuti)	Corse per direzione (numero)	Corse totali (numero)	Intertempo di progetto (minuti)	Corse per direzione (numero)	Corse totali (numero)	Intertempo di progetto (minuti)	Corse per direzione (numero)	Corse totali (numero)	Intertempo di progetto (minuti)	Corse per direzione (numero)	Corse totali (numero)	Intertempo di progetto (minuti)	Corse per direzione (numero)	Corse totali (numero)
4:45-6:15	1,50	20	4	8	20	5	10	20	5	10	20	5	10	20	5	10
6:15-21:45	15,50	10	95	190	10	93	186	15	62	124	20	47	94	10	93	186
21:45-01:00	3,25	20	9	18	15	13	26	15	13	26	20	10	20	20	10	20
Totale sul giorno		-	108	216	-	111	222	-	80	160	-	62	124	-	108	216
Percorrenze			1.696,4	3.392,7		1.743,5	3.487,0		1.256,6	2.513,1		973,8	1.947,7		1.696,4	3.392,7
Giorni anno			158		36		52		59		60					
Totale sull'anno		-	17.064	34.128	-	3.996	7.992	-	4.160	8.320	-	3.658	7.316	-	6.480	12.960
			35.358	70.716												
Percorrenze			555.368	1.110.736												

Sviluppo servizio

15,707

 km

Tabella 12 - Modulazione del servizio sulle varie tipologie di giornata dell'anno per la linea A2 Borgo Panigale – Fiera Michelino (linea Rossa)

Fascia oraria	Intervallo orario (ore)	Lunedì-Giovedì scolastici			Venerdì scolastico			Sabato			Domenica e festivi			Feriale non scolastico		
		Intertempo di progetto (minuti)	Corse per direzione (numero)	Corse totali (numero)	Intertempo di progetto (minuti)	Corse per direzione (numero)	Corse totali (numero)	Intertempo di progetto (minuti)	Corse per direzione (numero)	Corse totali (numero)	Intertempo di progetto (minuti)	Corse per direzione (numero)	Corse totali (numero)	Intertempo di progetto (minuti)	Corse per direzione (numero)	Corse totali (numero)
4:55-6:25	1,50	20	4	8	20	5	10	20	5	10	20	5	10	20	5	10
6:25-21:55	15,50	10	95	190	10	93	186	15	62	124	20	47	94	10	93	186
21:55-00:50	2,25	20	8	16	15	9	18	15	9	18	20	7	14	20	7	14
Totale sul giorno		-	107	214	-	107	214	-	76	152	-	59	118	-	105	210
Percorrenze			1.253,4	2.506,8		1.253,4	2.506,8		890,3	1.780,5		691,1	1.382,3		1.230,0	2.459,9
Giorni anno			158		36		52		59		60					
Totale sull'anno		-	16.906	33.812	-	3.852	7.704	-	3.952	7.904	-	3.481	6.962	-	6.300	12.600
			34.491	68.982												
Percorrenze			404.028	808.055												

Sviluppo servizio

11,714

 km

7. DIMENSIONAMENTO DEL PARCO ROTABILE

Sulla scorta dei risultati della simulazione di marcia tesa, degli allungamenti di regolarità e dei tempi di inversione ai capolinea si trovano i seguenti tempi di giro:

- Linea A1: 132,3 minuti;
- Linea A2: 99,3 minuti;
- Linea B: 61,3 minuti

A questi tempi, sul modello di esercizio in ora di punta che vede un intertempo di 10,0' per le linee A1 e A2 e 5,0' per la linea B, corrisponde un fabbisogno di rotabili in linea pari a:

- Linea A1: 13 unità;
- Linea A2: 10 unità;
- Linea B: 12 unità;

A questi si aggiungono un minimo di 5 scorte (tra *calde* per fuori linea imprevisti e *fredde* per manutenzione programmata) per un totale di 40 vetture.

Tabella 13 – Sintesi parametri di esercizio per il dimensionamento del parco

Parametro	Unità	Linea A1	Linea A2	Linea B	Totale
Lunghezza totale di esercizio	m	15.707	11.714	6.914	34.335
Numero di fermate	N.	29	24	17	45
Tempo lordo di viaggio tra i due terminali	minuti	63,90	47,40	28,38	
Velocità commerciale	km/h	14,75	14,83	14,62	
Tempo minimo di sosta al capolinea	minuti	3,0	3,0	3,0	
Allungamento di regolarità ai capolinea	minuti	1,5	1,5	1,5	
Tempo di giro	minuti	132,3	99,3	61,3	
Intertempo di progetto (per direzione)	minuti	10,0	10,0	5,0	
Rotabili in linea	N.	13	9	12	35
Rotabili di riserva	N.	2	2	2	5
Parco totale	N.	15	11	14	40