

SISTEMA TRANVIARIO DI PISA – LINEA 1 PIAZZA DEI MIRACOLI – OSPEDALE CISANELLO/CNR

ESERCIZIO

Relazione sull'esercizio e dimensionamento del parco

 <p>COMUNE DI PISA IL DIRIGENTE Ing. Maurizio Iannotta</p>	 <p>PISAMO s.p.a. IL DIRETTORE TECNICO Ing. Alessandro Fiorindi</p>	 <p>ARCHITECNA ENGINEERING s.r.l. COORDINATORE DELLA PROGETTAZIONE: Ing. Santi Caminiti</p>
--	--	--

PROGETTISTI			
 <p>architecna engineering</p>	 <p>GO Mobility</p>	 <p>ambiente s.p.a. consulenza & ingegneria esperienza per l'ambiente</p>	 <p>Ing. Andrea Spinosa</p>

COMMESSA	FASE	CATEGORIA	DISCIPLINA	TIPO	NUMERO	REV.	NOME FILE
T R P I	I M	E S E	E S E	R L	0 0 1	A	TRPI-IM-DIS-CAT-RL-001-A

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
A	DIC. 24	PRIMA EMISSIONE	A. SPINOSA	D. SALVO	S. CAMINITI
B					
C					
D					

Relazione sull'esercizio e dimensionamento del parco

Sommario

1. Premessa	4
2. Normativa di riferimento	4
3. Definizione del materiale rotabile	5
4. Dati di input del modello di simulazione dell'esercizio	6
4.1. Limiti di velocità	6
4.2. Tempi di sosta alle fermate	6
4.3. Pendenze longitudinali.....	6
4.4. Equazioni del comfort di marcia	6
4.5. Software di simulazione.....	7
5. Risultati della simulazione	8
5.1. Percorrenza in marcia tesa.....	8
5.2. Tempi di sosta alle fermate	8
5.3. Tempi di attesa per mancata priorità semaforica.....	8
5.4. Margine di recupero in linea	8
5.5. Tempo di inversione ai terminali	8
5.6. Incremento dei tempi ai capolinea	8
5.7. Calcolo del tempo di percorrenza in linea.....	9
6. Stima degli assorbimenti elettrici	19
7. Offerta di servizio.....	20
8. Dimensionamento del parco rotabile.....	24

1. Premessa

La presente relazione riguarda il modello di esercizio del nuovo impianto tramviario di Pisa, Piazza dei Miracoli – Stazione – Ospedale Cisanello e diramazione per il polo CNR e parcheggio scambiatore di San Giuliano Terme.

2. Normativa di riferimento

UNI 7836:2018 Metropolitane e tranvie - Andamento plano-altimetrico dei binari

UNI EN 15227:2020 Applicazioni ferroviarie - Requisiti di sicurezza passiva contro la collisione dei veicoli ferroviari

UNI EN 13261:2020 Applicazioni ferroviarie - Sale montate e carrelli - Assi - Requisiti del prodotto

UNI EN 14752:2022 Applicazioni ferroviarie - Sistemi di accesso laterale per il materiale rotabile ferroviario

UNI EN 17355:2020 Applicazioni ferroviarie - Dispositivo di comunicazione per trasporto urbano - Requisiti di sistema

UNI 11174:2022 Materiale rotabile per tramvie e tramvie veloci - Caratteristiche generali e prestazioni

UNI EN 14752:2022 Applicazioni ferroviarie - Sistemi di accesso laterale per il materiale rotabile ferroviario

UNI EN 15220:2016 Applicazioni ferroviarie - Indicatori di frenatura

EN 17319:2020 Railway applications - Infrastructure - Performance requirements of rail fastening systems for tramways

EN 16843:2024 Railway applications - Infrastructure - Mechanical requirements for joints in running rails

3. Definizione del materiale rotabile

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)	No
Larghezza veicolo	2.400 mm
Larghezza in corrispondenza del pianale	Fino a 2.500 mm
Lunghezza cassa	≤ 27 metri
Altezza massima (pantografo al massimo)	6.100 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 170
Velocità massima	70 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

Tab. 1 | Caratteristiche del materiale rotabile

4. Dati di input del modello di simulazione dell'esercizio

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.

4.1. Limiti di velocità

Ai sensi della norma UNI 8379:2000 e delle condizioni ordinarie di traffico nell'area di progetto sono assunti i seguenti valori di velocità limite a flusso libero e in servizio:

- sede segregata o riservata: 50 km/h;
- sede segregata o riservata affiancata a marciapiedi o piste ciclabili: 30 km/h;
- sede promiscua 25 km/h, anziché 30 km/h (indicati dalla norma) per tenere conto dell'interferenza con altri veicoli.

Sono inoltre assunti i seguenti limiti puntuali:

- Attraversamento delle intersezioni stradali (anche con asservimento): 15 km/h;
- Casse di manovra manuali:
 - Velocità limite per lo scambio di punta: 15 km/h
 - Velocità limite di tallonamento: 25 km/h
 - Velocità limite per cassa in retto tracciato presa di tallone: 40 km/h
- Casse di manovra elettroidrauliche:
 - Velocità limite per lo scambio di punta: 40 km/h.

4.2. 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:

$$t_s = 15 s + 2 \cdot \ln(Q)$$

4.3. 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.

4.4. 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 tranviario 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.

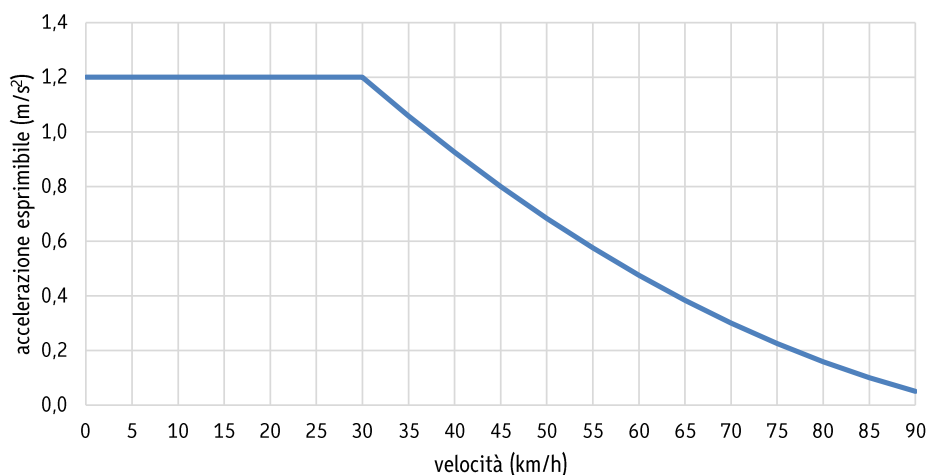


Fig. 1 | Curva caratteristica di trazione del materiale rotabile

4.5. Software di simulazione

Il software di modellazione adottato è *Trenoplus* (nelle componenti di *Treno* e *Trenissimo*) di TrenoLAB¹, software di simulazione dell'esercizio ferroviario estremamente adattabile perché permette la simulazione di altri sistemi, come nel caso quello tramviario, lavorando su coefficienti raccolti sul campo da impianti in esercizio ed euristiche proprie quali quelle pocanzi descritte.

¹ Per maggiori informazioni si veda: <https://www.trenolab.com/>

5. Risultati della simulazione

5.1. 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.

5.2. Tempi di sosta alle fermate

Il tempo di sosta alle fermate (capolinea esclusi) è inteso come l'intervallo di tempo che intercorre fra il momento in cui il veicolo è completamente fermo ed il momento in cui avviene la ripartenza del veicolo stesso, intervallo necessario per l'incarozzamento dei passeggeri. Secondo quanto descritto nel [paragrafo 4.2](#), sulla scorta dei dati di domanda, i tempi di sosta sono uniformemente assunti a 15 secondi per tutte le fermate della linea ad eccezione della Stazione, dove la sosta è prolungata a 40 secondi.

5.3. 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. Tale tempo è stato assunto pari a 5 secondi a intersezione.

5.4. 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 km di linea percorso.

5.5. 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 deviata immediatamente prima o dopo l'attestazione.

5.6. Incremento dei tempi 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.

5.7. Calcolo del tempo di percorrenza in linea

Il tempo di percorrenza in linea è calcolato come la somma dei contributi esposti nei paragrafi precedenti:

- Tempo di marcia tesa;
- Tempi di sosta alle fermate;
- Perditempo agli incroci semaforizzati.

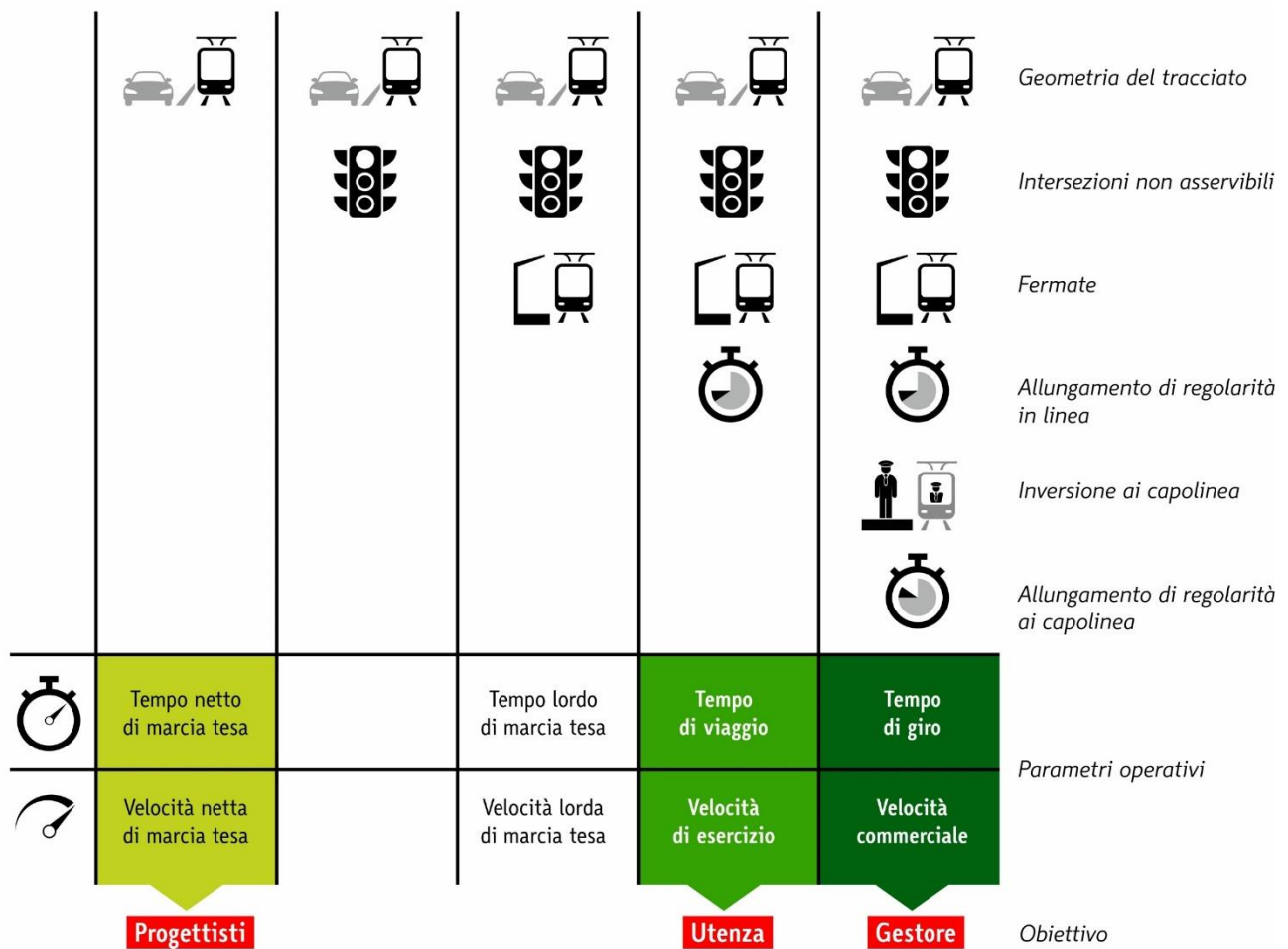


Fig. 2 - Elementi considerati nell'analisi dell'esercizio: parametri operativi e relativi obiettivi

L'esercizio è impostato su due linee:

- T1 Piazza dei Miracoli – Stazione – Ospedale Cisanello;
- T2 Piazza dei Miracoli – Stazione – Praticelli;

con tratta comune tra Piazza dei Miracoli e Bargagna.

La tabella seguente riassume i parametri di esercizio per l'intera tranvia di progetto.

Tab. 2 | Parametri di esercizio per l'intera tranvia di progetto

Linea T1			
Lunghezza totale del percorso	$L_T^{(ES)} =$	13.367	m
Tempo netto di marcia tesa	$t_M =$	2.404 s	00:40:03
Allungamento di regolarità in linea	$t_R =$	67 s	00:01:06
Perditempo agli incroci semaforizzati	$t_S =$	300 s	00:05:00
Tempi di sosta alle fermate	$t_F =$	590 s	00:09:50
Tempi di inversione ai terminali	$t_{cl,1} =$	0 s	00:00:00
Allungamento di regolarità ai capolinea	$t_{cl,2} =$	180 s	00:03:00
Tempo lordo di viaggio capolinea-capolinea	$t_T =$	3.541 s	00:59:00
Velocità media (commerciale)	$v_\mu =$	3,78 m/s	
	$V_\mu =$	13,59	km/h
Linea T2			
Lunghezza totale del percorso	$L_T^{(ES)} =$	15.742	m
Tempo netto di marcia tesa	$t_M =$	3.306 s	00:55:06
Allungamento di regolarità in linea	$t_R =$	414 s	00:06:53
Tempi di sosta alle fermate	$t_F =$	699 s	00:11:38
Tempi di inversione ai terminali	$t_{cl,1} =$	0 s	00:00:00
Allungamento di regolarità ai capolinea	$t_{cl,2} =$	180 s	00:03:00
Tempo lordo di viaggio capolinea-capolinea	$t_T =$	4.598 s	01:16:38
Velocità media (commerciale)	$v_\mu =$	3,42 m/s	
	$V_\mu =$	12,32	km/h

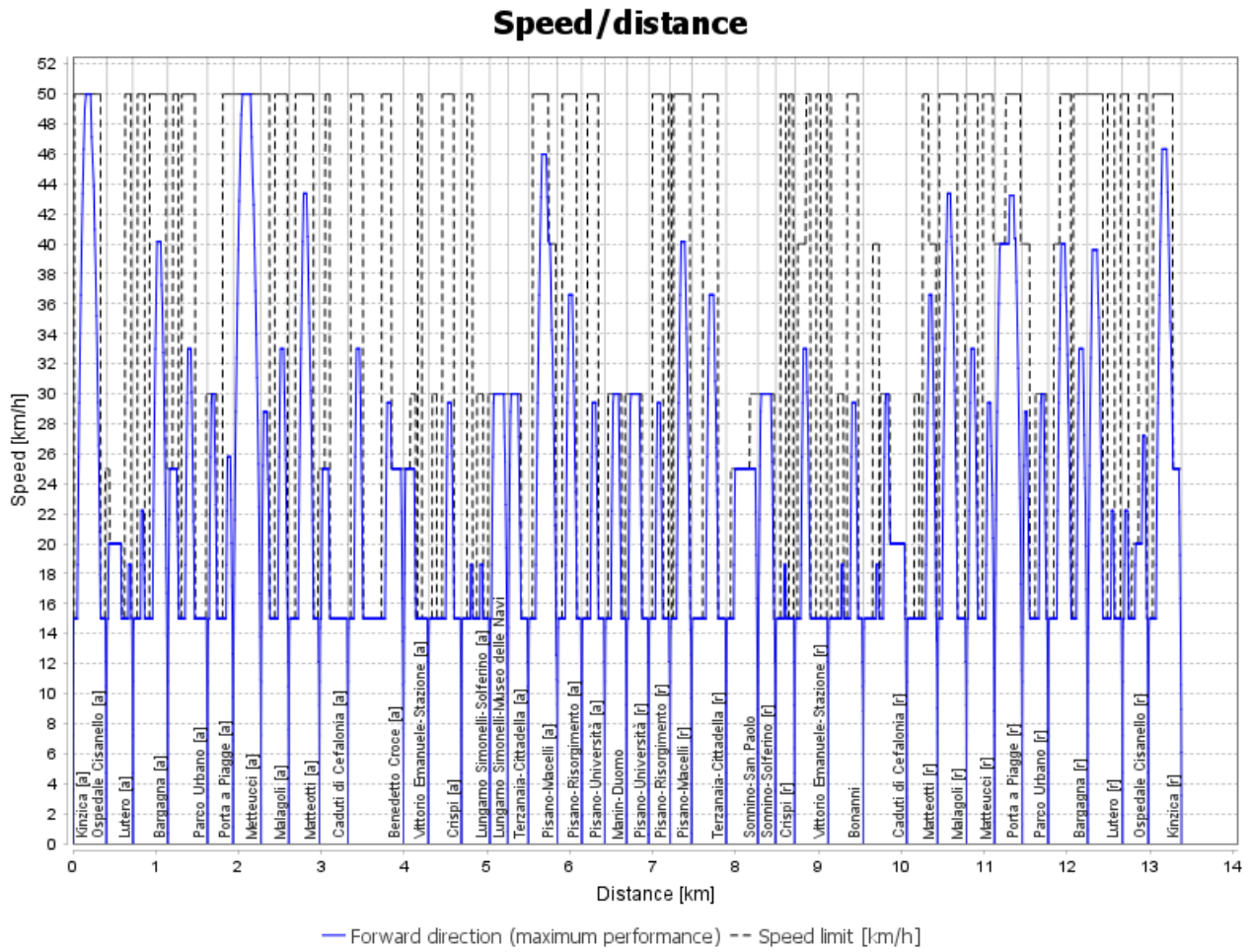


Fig. 3 | T1 - Grafico velocità-distanza

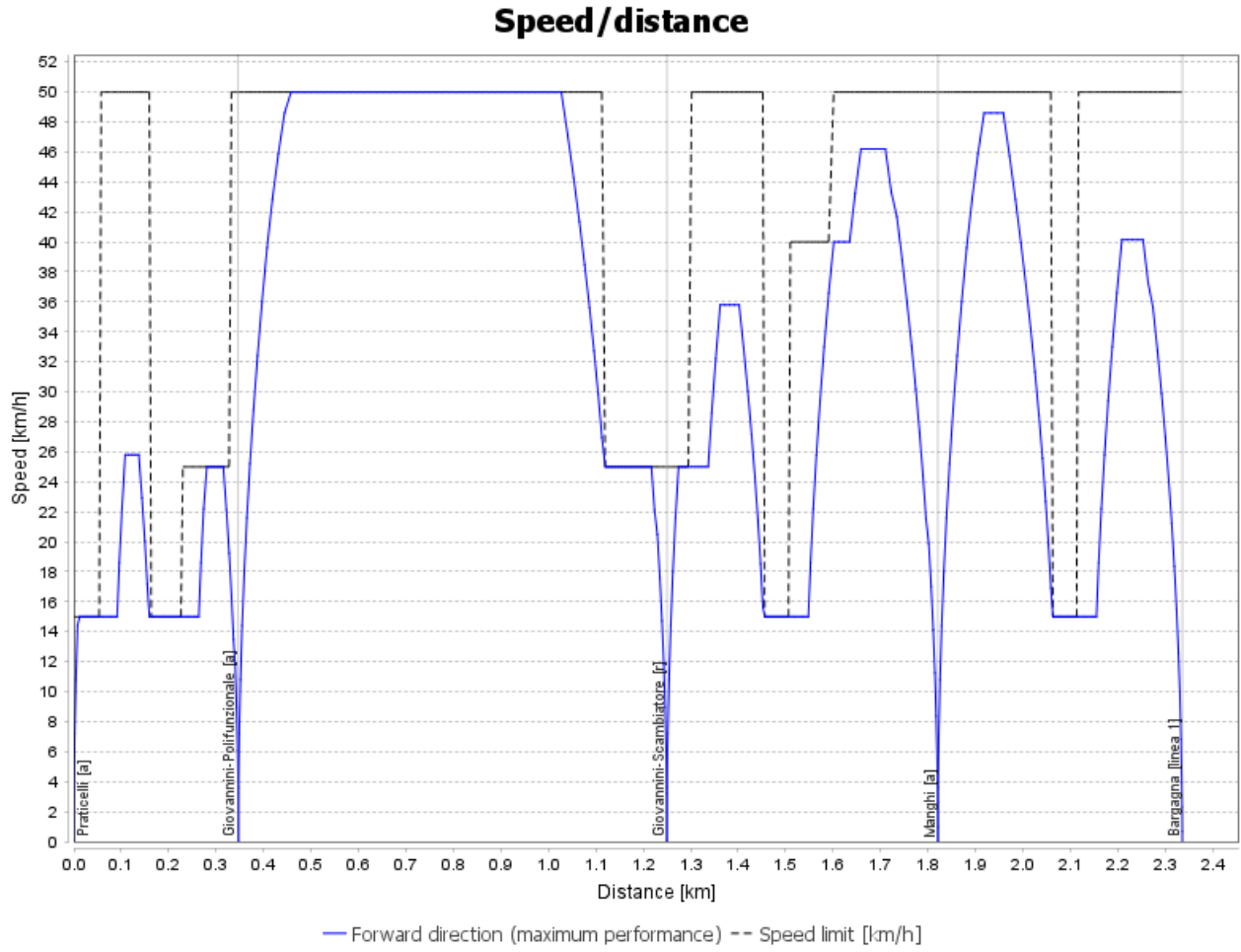


Fig. 4 | T2 tratta diramata Praticelli - Baragagna - Grafico velocità-distanza

Time/distance

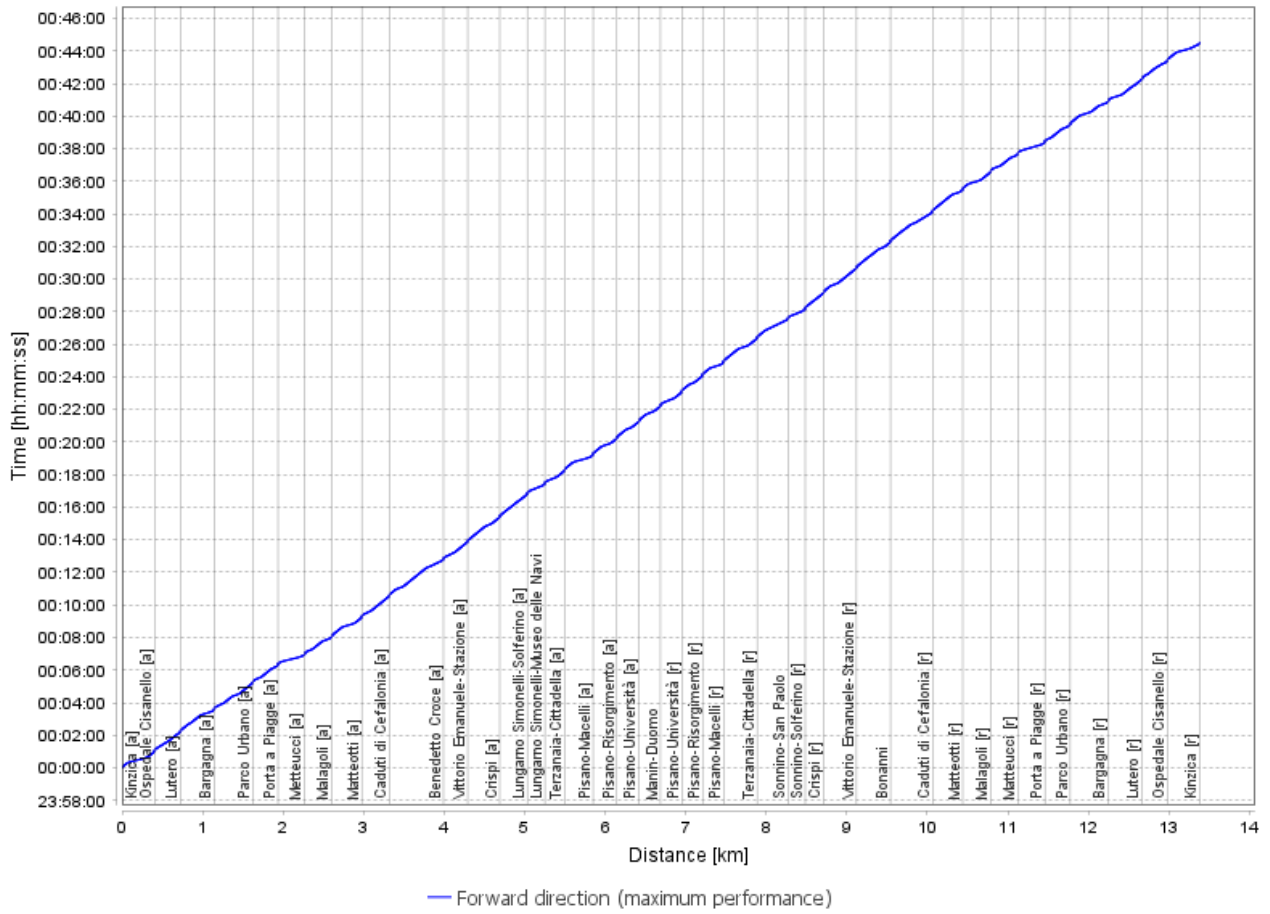


Fig. 5 | T1 - Grafico tempo-distanza

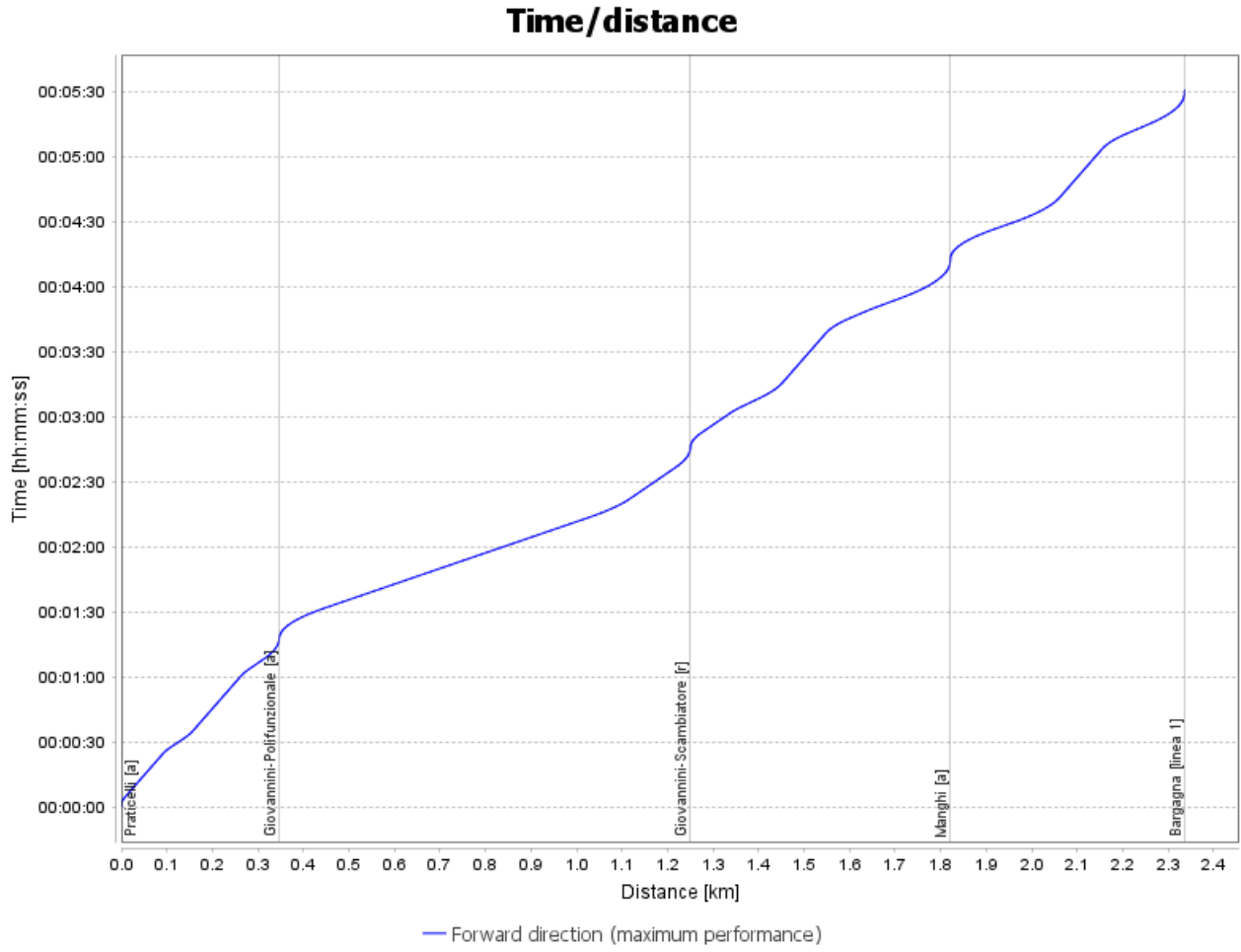


Fig. 6 | T2 tratta diramata Praticelli - Baragagna - Grafico tempo-distanza

Acceleration/distance

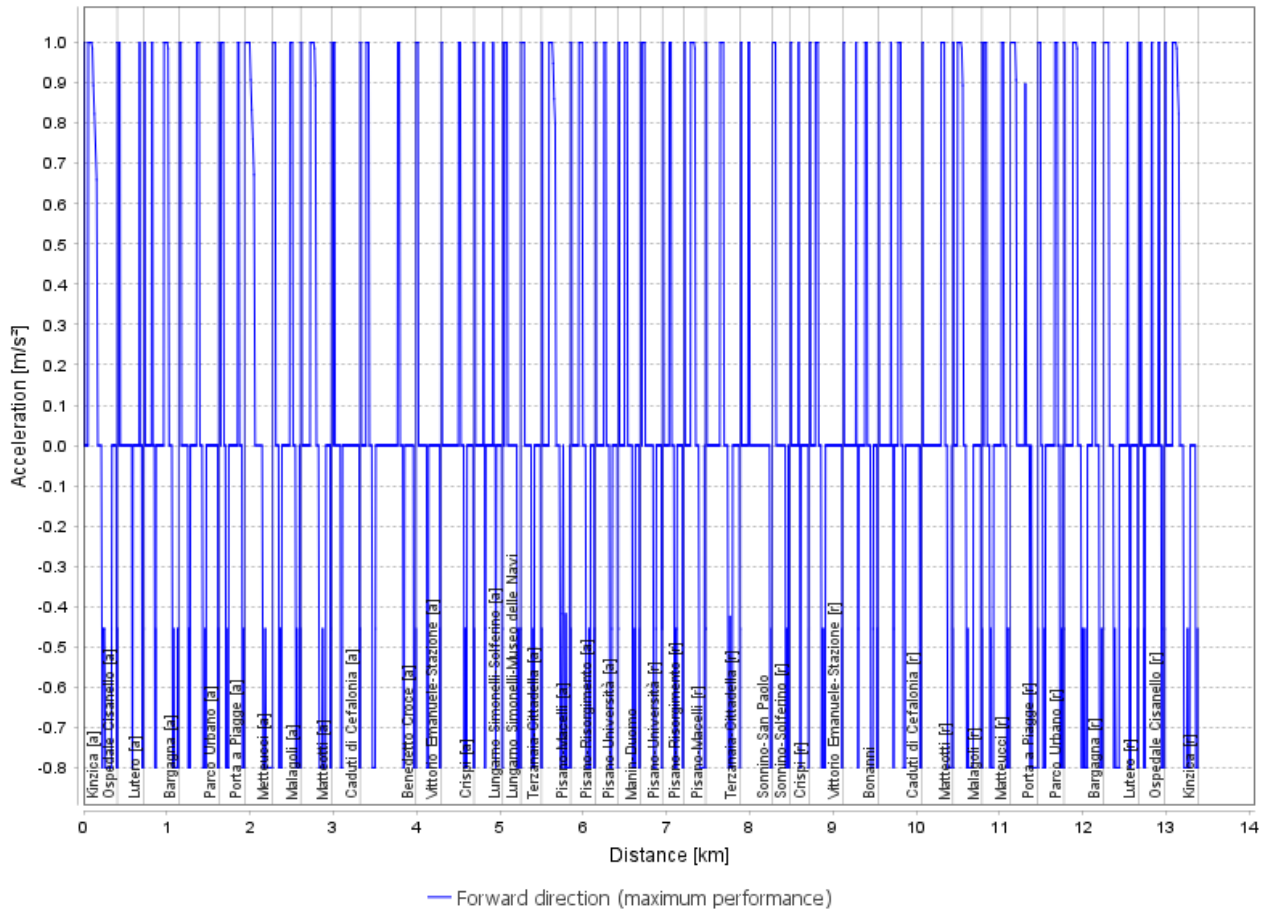


Fig. 7 | T1 - Grafico accelerazione-distanza

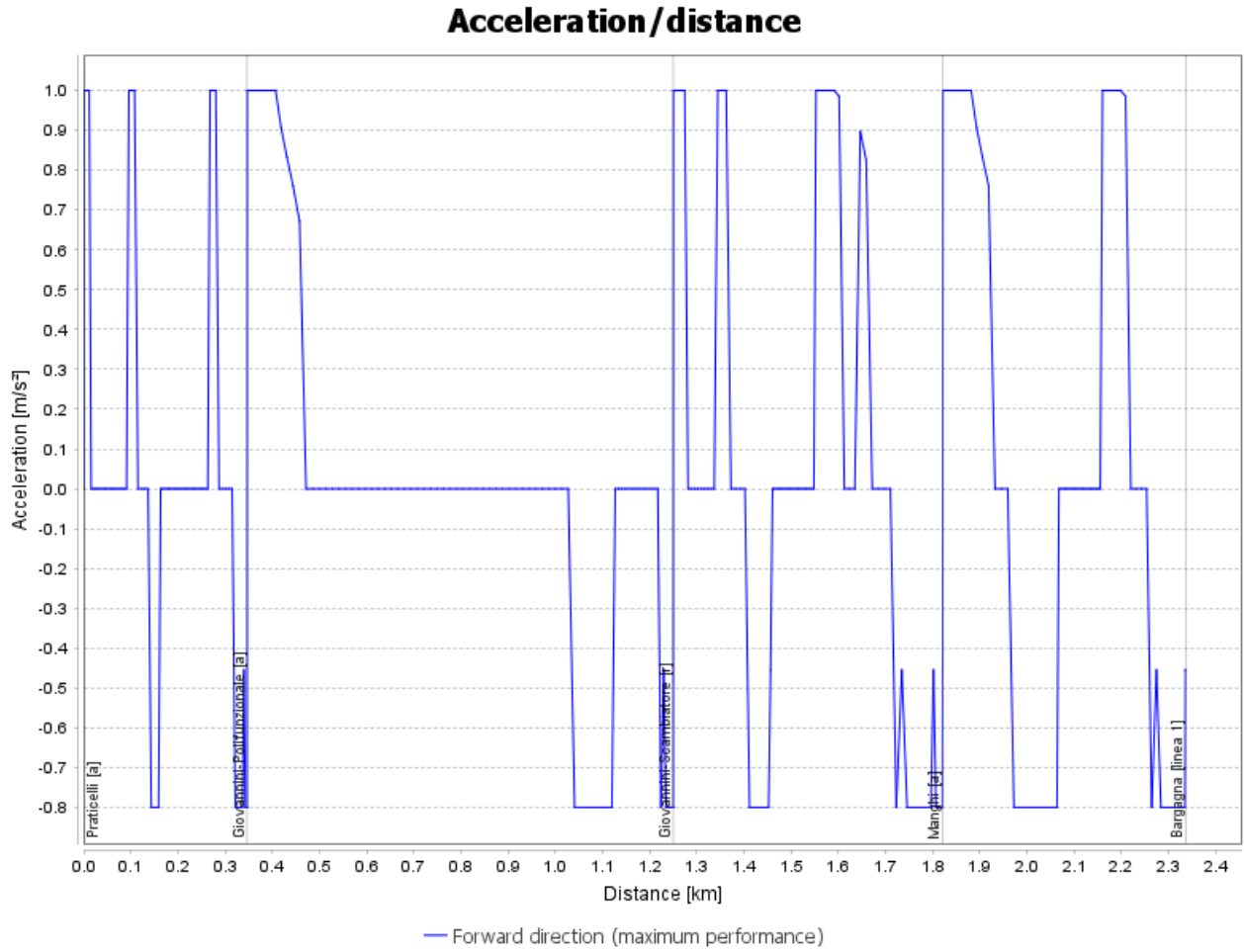


Fig. 8 | T2 tratta diramata Praticelli - Baragagna - Grafico accelerazione-distanza

Tab. 3 | T1 - Parametri di esercizio sulle intertratta di fermata

Da	A	Punto di partenza	Punto di arrivo	Distanza (metri)	Tempi (secondi)					Totale	
					Netto di marcia tesa	Fermata	Allungamento di regolarità	Perditempo alle intersezioni	Totale		
0	389	Kinzica [a]	Ospedale Cisanello [a]	389	58	15	1,9	5	79,5	00:01:19	
389	709	Ospedale Cisanello [a]	Lutero [a]	320	64	15	1,6	5	85,5	00:01:25	
709	1.129	Lutero [a]	Bargagna [a]	420	75	15	2,1	5	96,8	00:01:36	
1.129	1.609	Bargagna [a]	Parco Urbano [a]	480	88	15	2,4	10	115,6	00:01:55	
1.609	1.920	Parco Urbano [a]	Porta a Piagge [a]	311	59	15	1,6	10	85,1	00:01:25	
1.920	2.254	Porta a Piagge [a]	Matteucci [a]	334	36	15	1,7	0	52,7	00:00:52	
2.254	2.592	Matteucci [a]	Malagoli [a]	338	59	15	1,7	5	80,2	00:01:20	
2.592	2.961	Malagoli [a]	Matteotti [a]	369	64	15	1,8	10	90,7	00:01:30	
2.961	3.305	Matteotti [a]	Caduti di Cefalonia [a]	344	71	15	1,7	15	102,8	00:01:42	
3.305	3.975	Caduti di Cefalonia [a]	Benedetto Croce [a]	670	121	15	3,4	15	154,0	00:02:33	
3.975	4.276	Benedetto Croce [a]	Vittorio Emanuele-Stazione [a]	301	59	40	1,5	10	110,0	00:01:50	
4.276	4.674	Vittorio Emanuele-Stazione [a]	Crispi [a]	398	82	15	2,0	15	113,9	00:01:53	
4.674	5.017	Crispi [a]	Lungarno Simonelli-Solferino [a]	343	77	15	1,7	15	108,2	00:01:48	
5.017	5.235	Lungarno Simonelli-Solferino [a]	Lungarno Simonelli-Museo delle Navi	218	34	15	1,1	0	50,3	00:00:50	
5.235	5.483	Lungarno Simonelli-Museo delle Navi	Terzanaia-Cittadella [a]	248	45	15	1,2	5	66,2	00:01:06	
5.483	5.833	Terzanaia-Cittadella [a]	Pisano-Macelli [a]	350	51	15	1,8	5	73,1	00:01:13	
5.833	6.127	Pisano-Macelli [a]	Pisano-Risorgimento [a]	294	54	15	1,5	10	80,5	00:01:20	
6.127	6.405	Pisano-Risorgimento [a]	Pisano-Università [a]	278	57	15	1,4	10	83,1	00:01:23	
6.405	6.669	Pisano-Università [a]	Manin-Duomo	264	50	15	1,3	0	66,7	00:01:06	
6.669	6.936	Manin-Duomo	Pisano-Università [r]	267	48		1,3	0	49,0	00:00:49	
6.936	7.193	Pisano-Università [r]	Pisano-Risorgimento [r]	257	54	15	1,3	10	80,3	00:01:20	
7.193	7.454	Pisano-Risorgimento [r]	Pisano-Macelli [r]	261	44	15	1,3	10	70,4	00:01:10	
7.454	7.871	Pisano-Macelli [r]	Terzanaia-Cittadella [r]	417	79	15	2,1	5	101,3	00:01:41	
7.871	8.254	Terzanaia-Cittadella [r]	Sonnino-San Paolo	383	64	15	1,9	5	85,8	00:01:25	
8.254	8.467	Sonnino-San Paolo	Sonnino-Solferino [r]	213	33	15	1,1	0	49,4	00:00:49	
8.467	8.699	Sonnino-Solferino [r]	Crispi [r]	232	54	15	1,2	15	85,2	00:01:25	
8.699	9.103	Crispi [r]	Vittorio Emanuele-Stazione [r]	404	81	40	2,0	15	138,0	00:02:18	
9.103	9.526	Vittorio Emanuele-Stazione [r]	Bonanni	423	87	15	2,1	10	114,4	00:01:54	
9.526	10.050	Bonanni	Caduti di Cefalonia [r]	524	100	15	2,6	15	132,5	00:02:12	
10.050	10.423	Caduti di Cefalonia [r]	Matteotti [r]	373	73	15	1,9	15	104,8	00:01:44	
10.423	10.772	Matteotti [r]	Malagoli [r]	349	59	15	1,7	10	86,1	00:01:26	
10.772	11.111	Malagoli [r]	Matteucci [r]	339	59	15	1,7	5	81,1	00:01:21	
11.111	11.444	Matteucci [r]	Porta a Piagge [r]	333	39	15	1,7	0	55,4	00:00:55	
11.444	11.758	Porta a Piagge [r]	Parco Urbano [r]	314	59	15	1,6	10	85,1	00:01:25	
11.758	12.233	Parco Urbano [r]	Bargagna [r]	475	77	15	2,4	10	104,8	00:01:44	
12.233	12.653	Bargagna [r]	Lutero [r]	420	74	15	2,1	5	95,9	00:01:35	
12.653	12.967	Lutero [r]	Ospedale Cisanello [r]	314	60	15	1,6	5	81,9	00:01:21	
12.967	13.367	Ospedale Cisanello [r]	Kinzica [r]	400	58		2,0	5	64,6	00:01:04	
				Linea T1	13.367	2.404	590	66,8	300	3.360,7	00:56:00
				Tratta banalizzata interferente sull'intertempo	264	50	15,0	1,3	0	66,7	00:01:06
								Intertempo minimo	80,1	00:01:20	

Tab. 4 | T2 - Parametri di esercizio sulle intertratta di fermata

Da	A	Punto di partenza	Punto di arrivo	Distanza (metri)	Tempi (secondi)					Totale	
					Netto di marcia tesa	Fermata	Allungamento di regolarità	Perditempo alle intersezioni			
0	330	Praticelli [r]	Giovannini-Polifunzionale [a]	330	77	15	1,7	10	103,7	00:01:43	
330	1.233	Giovannini-Polifunzionale [a]	Giovannini-Scambiatore [a]	903	88	15	4,5	0	107,5	00:01:47	
1.233	1.804	Giovannini-Scambiatore	Manghi [a]	571	87	15	2,9	10	114,9	00:01:54	
1.804	2.319	Manghi	Bargagna [a]	515	78	15	2,6	15	110,6	00:01:50	
2.319	2.799	Bargagna [a]	Parco Urbano [a]	480	88	15	2,4	10	115,6	00:01:55	
2.799	3.110	Parco Urbano [a]	Porta a Piagge [a]	311	59	15	1,6	10	85,1	00:01:25	
3.110	3.444	Porta a Piagge [a]	Metteucci [a]	334	36	15	1,7	0	52,7	00:00:52	
3.444	3.782	Metteucci [a]	Malagoli [a]	338	59	15	1,7	5	80,2	00:01:20	
3.782	4.151	Malagoli [a]	Matteotti [a]	369	64	15	1,8	10	90,7	00:01:30	
4.151	4.495	Matteotti [a]	Caduti di Cefalonia [a]	344	71	15	1,7	15	102,8	00:01:42	
4.495	5.165	Caduti di Cefalonia [a]	Benedetto Croce [a]	670	121	15	3,4	15	154,0	00:02:33	
5.165	5.466	Benedetto Croce [a]	Vittorio Emanuele-Stazione [a]	301	59	40	1,5	10	110,0	00:01:50	
5.466	5.864	Vittorio Emanuele-Stazione [a]	Crispi [a]	398	82	15	2,0	15	113,9	00:01:53	
5.864	6.207	Crispi [a]	Lungarno Simonelli-Solferino [a]	343	77	15	1,7	15	108,2	00:01:48	
6.207	6.425	Lungarno Simonelli-Solferino [a]	Lungarno Simonelli-Museo delle Navi	218	34	15	1,1	0	50,3	00:00:50	
6.425	6.673	Lungarno Simonelli-Museo delle Navi	Terzanaia-Cittadella [a]	248	45	15	1,2	5	66,2	00:01:06	
6.673	7.023	Terzanaia-Cittadella [a]	Pisano-Macelli [a]	350	51	15	1,8	5	73,1	00:01:13	
7.023	7.317	Pisano-Macelli [a]	Pisano-Risorgimento [a]	294	54	15	1,5	10	80,5	00:01:20	
7.317	7.595	Pisano-Risorgimento [a]	Pisano-Università [a]	278	57	15	1,4	10	83,1	00:01:23	
7.595	7.859	Pisano-Università [a]	Manin-Duomo	264	50	15	1,3	0	66,7	00:01:06	
7.859	8.126	Manin-Duomo	Pisano-Università [r]	267	48	0	1,3	0	49,0	00:00:49	
8.126	8.383	Pisano-Università [r]	Pisano-Risorgimento [r]	257	54	15	1,3	10	80,3	00:01:20	
8.383	8.644	Pisano-Risorgimento [r]	Pisano-Macelli [r]	261	44	15	1,3	10	70,4	00:01:10	
8.644	9.061	Pisano-Macelli [r]	Terzanaia-Cittadella [r]	417	79	15	2,1	5	101,3	00:01:41	
9.061	9.444	Terzanaia-Cittadella [r]	Sonnino-San Paolo	383	64	15	1,9	5	85,8	00:01:25	
9.444	9.657	Sonnino-San Paolo	Sonnino-Solferino [r]	213	33	15	1,1	0	49,4	00:00:49	
9.657	9.889	Sonnino-Solferino [r]	Crispi [r]	232	54	15	1,2	15	85,2	00:01:25	
9.889	10.293	Crispi [r]	Vittorio Emanuele-Stazione [r]	404	81	40	2,0	15	138,0	00:02:18	
10.293	10.716	Vittorio Emanuele-Stazione [r]	Bonanni	423	87	15	2,1	10	114,4	00:01:54	
10.716	11.240	Bonanni	Caduti di Cefalonia [r]	524	100	15	2,6	15	132,5	00:02:12	
11.240	11.613	Caduti di Cefalonia [r]	Matteotti [r]	373	73	15	1,9	15	104,8	00:01:44	
11.613	11.962	Matteotti [r]	Malagoli [r]	349	59	15	1,7	10	86,1	00:01:26	
11.962	12.301	Malagoli [r]	Metteucci [r]	339	59	15	1,7	5	81,1	00:01:21	
12.301	12.634	Metteucci [r]	Porta a Piagge [r]	333	39	15	1,7	0	55,4	00:00:55	
12.634	12.948	Porta a Piagge [r]	Parco Urbano [r]	314	59	15	1,6	10	85,1	00:01:25	
12.948	13.423	Parco Urbano [r]	Bargagna [r]	475	77	15	2,4	10	104,8	00:01:44	
13.423	13.938	Bargagna [r]	Manghi [r]	515	88	15	2,4	10	115,6	00:01:55	
13.938	14.509	Manghi [r]	Giovannini-Scambiatore [r]	571	87	15	2,9	10	114,9	00:01:54	
14.509	15.412	Giovannini-Scambiatore [r]	Giovannini-Polifunzionale [r]	903	88	15	4,5	0	107,5	00:01:47	
15.412	15.742	Giovannini-Polifunzionale [r]	Praticelli [r]	330	77		1,7	10	103,7	00:01:43	
				Linea T2	15.742	3.306	699	413,5	4.070	3.734,8	02:02:14

6. Stima degli assorbimenti elettrici

La tabella seguente riassume gli assorbimenti elettrici, sviluppati secondo il veicolo di progetto e la curva di trazione di cui al [capitolo 3](#) e al [paragrafo 4.4](#).

Tab. 5 | Sintesi degli assorbimenti in linea per le due linee di progetto

Linea	Lunghezza	Assorbimento		
		In marcia tesa	Totale	Unitario
T1	13.367	50,316	63,309	4,736
T2	15.742	51,095	64,891	4,122
Totale	29.109	101	128	4,404

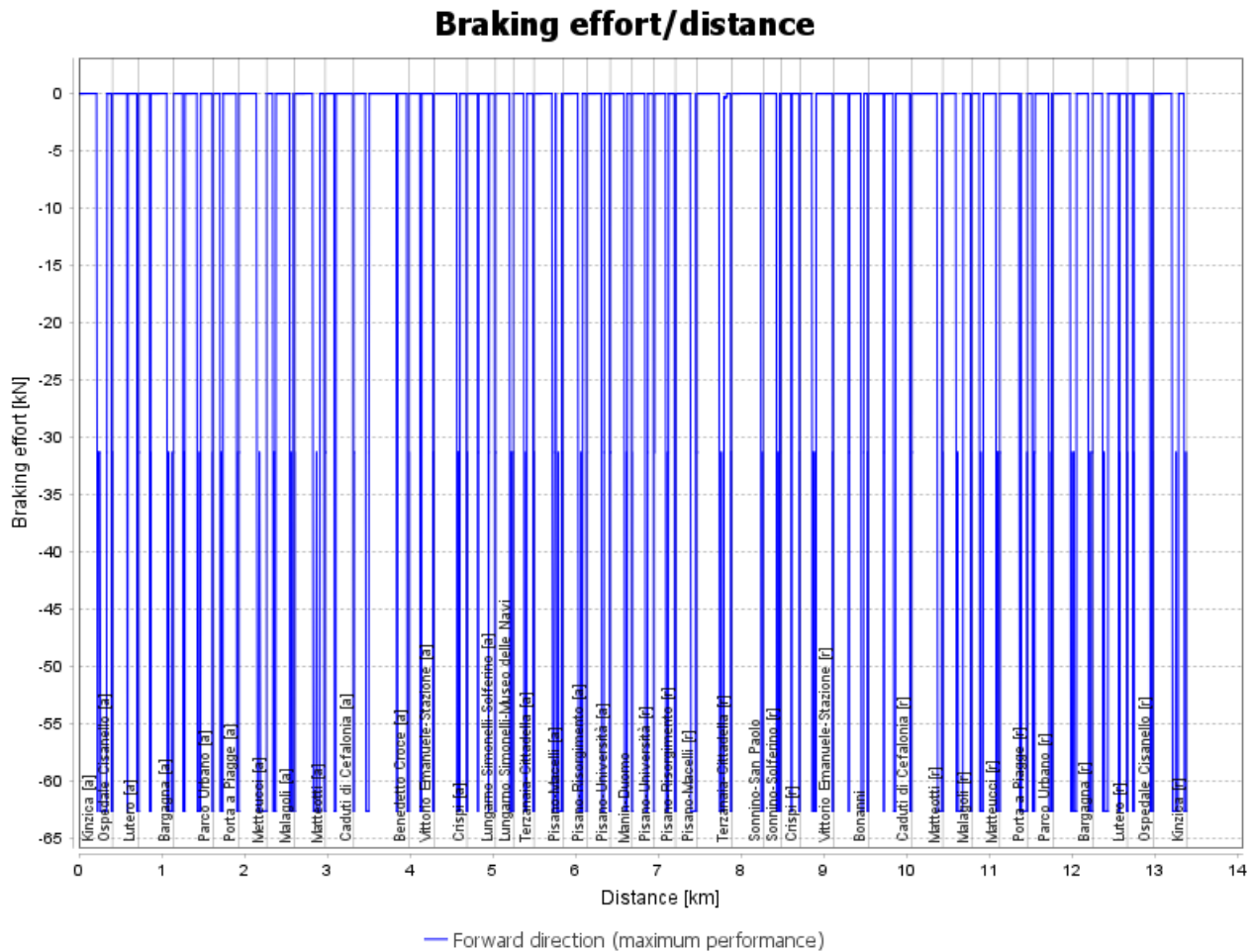


Fig. 9 | T1 - Curva assorbimento istantaneo (kW)-distanza

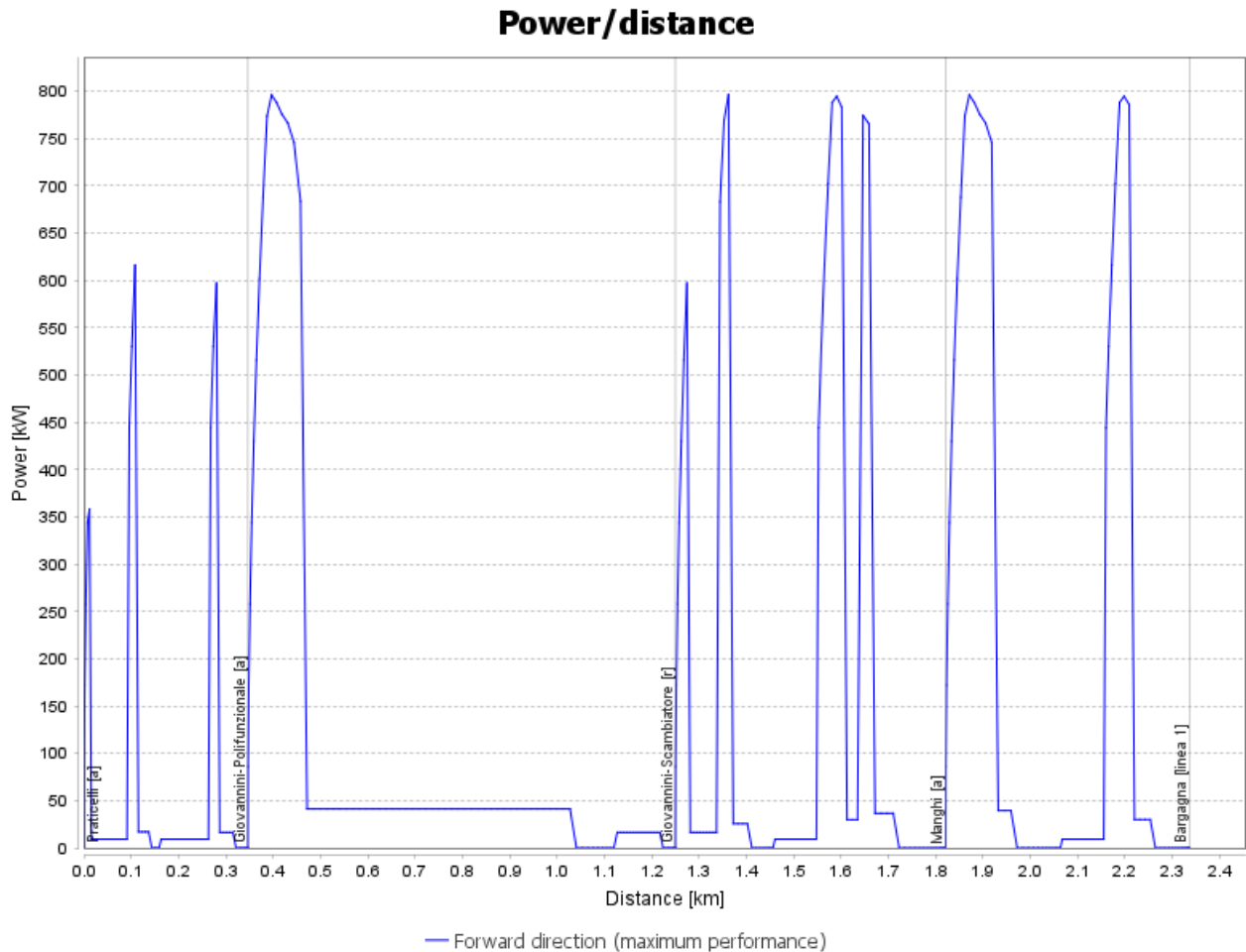


Fig. 10 | T2 tratta diramata Praticelli - Baragana - Curva assorbimento istantaneo (kW)-distanza

7. Offerta di servizio

L'offerta di servizio prevede un massimo di 6 corse/ora per direzione (intertempo di 7,5') nelle fasce di punta e 6 corse/ora direzione (intertempo di 10') nella morbida pomeridiana, 3 corse/ora per direzione (intertempo di 20') in fascia serale e notturna.

L'intertempo minimo imposto dalla sezione banalizzata presso Piazza dei Miracoli è di 90" ovvero 00:01:30, quindi compatibile con l'intertempo di picco (cumulato tra le due linee) di 6,00' dei passaggi per direzione.

La produzione annuale è di 1.632.371 tram km.

Tab. 6 | T1 - Modulazione dell'offerta di servizio

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)
5:00-6:30	1,50	20	4	8	20	5	10	20	5	10	20	5	10	20	5	10
6:30-9:30	3,00	10	18	36	10	18	36	10	18	36	10	18	36	10	18	36
9:30-16:30	7,00	10	42	84	10	42	84	10	42	84	10	42	84	10	42	84
16:30-20:30	4,00	10	24	48	10	24	48	10	24	48	10	24	48	10	24	48
20:30-01:30	5,00	20	14	28	20	15	30	20	15	30	20	15	30	20	15	30
Totale sul giorno		-	102	204	-	104	208	-	104	208	-	104	208	-	104	208
Percorrenze			1.363,4	2.726,9		1.390,2	2.780,3		1.390,2	2.780,3		1.390,2	2.780,3		1.390,2	2.780,3
Giorni anno			158		36			52			59			60		
Totale sull'anno		-	16.116	32.232	-	3.744	7.488	-	5.408	10.816	-	6.136	12.272	-	6.240	12.480
Percorrenze			503.187	1.006.375												

 Sviluppo servizio **13,367** km

Tab. 7 | T2 - Modulazione dell'offerta di servizio

Fascia oraria	Intervallo orario <i>(ore)</i>	Lunedì-Giovedì scolastici			Venerdì scolastico			Sabato			Domenica e festivi			Feriale non scolastico		
		Intertempo di progetto	Corse per direzione	Corse totali	Intertempo di progetto	Corse per direzione	Corse totali	Intertempo di progetto	Corse per direzione	Corse totali	Intertempo di progetto	Corse per direzione	Corse totali	Intertempo di progetto	Corse per direzione	Corse totali
		<i>(minuti)</i>	<i>(numero)</i>	<i>(numero)</i>	<i>(minuti)</i>	<i>(numero)</i>	<i>(numero)</i>	<i>(minuti)</i>	<i>(numero)</i>	<i>(numero)</i>	<i>(minuti)</i>	<i>(numero)</i>	<i>(numero)</i>	<i>(minuti)</i>	<i>(numero)</i>	<i>(numero)</i>
5:00-6:30	1,50	30	3	6	30	3	6	30	3	6	30	3	6	30	3	6
6:30-9:30	3,00	15	12	24	15	12	24	15	12	24	30	6	12	15	12	24
9:30-16:30	7,00	15	28	56	15	28	56	15	28	56	30	14	28	15	28	56
16:30-20:30	4,00	15	16	32	15	16	32	15	16	32	30	8	16	15	16	32
20:30-01:30	5,00															
Totale sul giorno		-	59	118	-	59	118	-	59	118	-	31	62	-	59	118
Percorrenze			928,8	1.857,6		928,8	1.857,6		928,8	1.857,6		488,0	976,0		928,8	1.857,6
Giorni anno			158		36			52			59			60		
Totale sull'anno		-	9.322	18.644	-	2.124	4.248	-	3.068	6.136	-	1.829	3.658	-	3.540	7.080
Percorrenze			312.998	625.996												

 Sviluppo servizio **15,742** km

Tab. 8 | Rete totale - Modulazione dell'offerta di servizio complessiva

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)
5:00-6:30	1,50	12	7	14	11	8	16	11	8	16	11	8	16	11	8	16
6:30-9:30	3,00	6	30	60	6	30	60	6	30	60	7	24	48	6	30	60
9:30-16:30	7,00	6	70	140	6	70	140	6	70	140	7	56	112	6	70	140
16:30-20:30	4,00	6	40	80	6	40	80	6	40	80	7	32	64	6	40	80
20:30-01:30	5,00	20	14	28	20	15	30	20	15	30	20	15	30	20	15	30
Totale sul giorno		-	161	322	-	163	326	-	163	326	-	135	270	-	163	326
Percorrenze			2.292,2	4.584,4		2.318,9	4.637,9		2.318,9	4.637,9		1.878,2	3.756,3		2.318,9	4.637,9
Giorni anno			158		36			52			59			60		
Totale sull'anno		-	25.438	50.876	-	5.868	11.736	-	8.476	16.952	-	7.965	15.930	-	9.780	19.560
Percorrenze			816.186	1.632.371												

 Sviluppo servizio **15,686** km

8. Dimensionamento del parco rotabile

Rispetto all’offerta di progetto, considerando un tempo di giro di 96,2 minuti, risulta un fabbisogno di:

- 11 vetture in linea;
 - 2 vetture di scorta;
- per un totale di 13 vetture.

Tab. 9 | Dimensionamento del parco rotabile

<i>linea T1</i>			
Parametro	Valore		
Lunghezza totale di esercizio	13.367		m
Numero di fermate intermedie	37		N.
Tempo lordo di viaggio tra i due terminali	56,01		minuti
Velocità di marcia tesa	14,32		km/h
Tempo minimo di sosta ai capolinea	3,0	00:03:00	minuti
Allungamento di regolarità ai capolinea	1,0	00:01:00	minuti
Velocità commerciale	12,53		km/h
Tempo di giro	64,0	01:04:01	minuti
Intertempo di progetto (per direzione)	10,0	00:10:00	minuti
Rotabili in linea	6		N.
Rotabili di riserva	1		N.
Parco totale servizio Tratta 1	7		N.
<i>linea T2</i>			
Parametro	Valore		
Lunghezza totale di esercizio	15.742		m
Numero di fermate intermedie	39		N.
Tempo lordo di viaggio tra i due terminali	62,25	01:02:15	minuti
Velocità di marcia tesa	15,17		km/h
Tempo minimo di sosta ai capolinea	3,0	00:03:00	minuti
Allungamento di regolarità ai capolinea	1,0	00:01:00	minuti
Velocità commerciale	13,45		km/h
Tempo di giro	70,2	01:10:15	minuti
Intertempo di progetto (per direzione)	15,0	00:15:00	minuti
Rotabili in linea	5		minuti
Rotabili di riserva	1		N.
Parco totale servizio Tratta 2	6		N.