



SKYMETRO

PROLUNGAMENTO DELLA METROPOLITANA IN VALBISAGNO CUP B39J22001360001 CIG 9262977270

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA (D.lgs. n. 36 / 2023)



ESERCIZIO RELAZIONE TECNICA

Commessa	Fase	Lotto	Disciplina	WBS	Tipo	Numero	Foglio	Rev.
MGE1	P4	LV	ESE	COM	R	001	00	A



Rev.	Descrizione	Nome		Data	Ragioni Modifica
A	Adeguamento al parere del CSSLPP e altri Enti e allineamento progetto	Redatto	A. Sanna	07/03/2025	
		Verificato	D. Canestrelli	07/03/2025	
		Approvato	D. Canestrelli	07/03/2025	
		Autorizzato	P. Cucino	07/03/2025	
B		Redatto			
		Verificato			
		Approvato			
		Autorizzato			
C		Redatto			
		Verificato			
		Approvato			
		Autorizzato			
D		Redatto			
		Verificato			
		Approvato			
		Autorizzato			





INDICE

1.	INTRODUZIONE	6
2.	MODELLO DI ESERCIZIO E OFFERTA DI TRASPORTO	6
3.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	8
4.	CRITERI PER LA VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI	9
5.	DATI DI TRACCIATO E DI VEICOLO	9
5.1	DATI DI TRACCIATO	9
5.1.1	TIPO DI SEDE	9
5.1.2	LIMITI DI VELOCITÀ	10
5.1.3	FERMATE E TEMPI DI SOSTA	10
5.1.4	PENDENZE LONGITUDINALI	11
5.1.5	ANDAMENTO PLANIMETRICO	12
5.2	DATI DI VEICOLO	13
5.2.1	CURVA CARATTERISTICA DI TRAZIONE	13
5.2.2	CURVA CARATTERISTICA DI FRENATURA	14
6.	CALCOLO DEL TEMPO DI PERCORRENZA	14
6.1	PERCORRENZA IN MARCIA TESA	14
6.2	ULTERIORI CONTRIBUTI DI ESERCIZIO	19
6.2.1	TEMPI DI SOSTA ALLE FERMATE	19
6.2.2	MARGINE DI RECUPERO IN LINEA	19
6.2.3	TEMPO DI INVERSIONE AI TERMINALI	19
6.2.4	INCREMENTO DEI TEMPI AI CAPOLINEA	19
7.	CALCOLO DEL TEMPO DI GIRO	19
7.1	INTERA LINEA	19
7.1.1	CAPACITÀ DI TRASPORTO E DIMENSIONAMENTO PARCO ROTABILI	21
7.2	LOTTO 1	21
7.2.1	CAPACITÀ DI TRASPORTO E DIMENSIONAMENTO PARCO ROTABILI	22
8.	ORARIO GRAFICO	22
9.	ROTABILI IN ESERCIZIO	25



INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.	Variazione di r_c con R e raffronto tra le diverse formulazioni	13
Figura 2.	Curva caratteristica di trazione	14
Figura 3.	Binario dispari – Diagramma spazio-velocità Brignole Sant’Agata- Ponte Carrega – Lotto 1	15
Figura 4.	Binario pari – Diagramma spazio-velocità Ponte Carrega-Brignole Sant’Agata – Lotto 1	16
Figura 5.	Binario dispari – Diagramma spazio-velocità Brignole Sant’Agata-Molassana	17
Figura 6.	Binario pari – Diagramma spazio-velocità Molassana-Brignole Sant’Agata	17
Figura 7.	Orario grafico relativo all’intera linea	23
Figura 8.	Orario grafico relativo al lotto 1	24
Figura 9.	Figurino treni di terza generazione	26



INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1.	Dati di servizio relativi all'intera linea	7
Tabella 2.	Dati di servizio relativi al lotto 1	8
Tabella 3.	Binario dispari - Stazioni, fermate, punti notevoli e tempi di fermata	11
Tabella 4.	Binario pari - Stazioni, fermate, punti notevoli e tempi di fermata	11
Tabella 5.	Parametri di calcolo di r_c secondo la formulazione di Won Röckl	12
Tabella 6.	Valori di r_c secondo tabella F.S. Italiane	12
Tabella 7.	Accelerazione del rotabile in funzione della velocità	13
Tabella 8.	Binario dispari - Tempi intertratta in marcia tesa	18
Tabella 9.	Binario pari - Tempi intertratta in marcia tesa	18
Tabella 10.	Binario dispari - Sintesi delle componenti per il calcolo del tempo di giro	20
Tabella 11.	Binario pari - Sintesi delle componenti per il calcolo del tempo di giro	20
Tabella 12.	Binario dispari - Sintesi delle componenti per il calcolo del tempo di giro – Lotto 1	21
Tabella 13.	Binario pari - Sintesi delle componenti per il calcolo del tempo di giro – Lotto 1	22



1. INTRODUZIONE

Scopo del presente documento è quantificare, in base al calcolo dei tempi di percorrenza nelle varie tratte, i requisiti di velocità commerciale e di consistenza del parco del materiale rotabile. Nell'ambito dei seguenti capitoli sono quindi analizzati i seguenti aspetti:

- calcolo dei tempi netti di percorrenza della linea;
- analisi e quantificazione dei parametri di esercizio e verifica della velocità commerciale;
- dimensionamento della flotta.

In base alle tempistiche di realizzazione dell'opera previste dalla Committenza sono stati studiati due schemi di esercizio, uno relativo al primo lotto e uno al lotto di completamento, che considera l'intera linea.

2. MODELLO DI ESERCIZIO E OFFERTA DI TRASPORTO

Il modello di esercizio a regime, sviluppato con riferimento ad un anno "tipo" e previsto in funzione della domanda stimata, si basa, per quanto riguarda le diverse tipologie di giornata su quanto già attualmente programmato per la linea metropolitana di Genova:

- feriale;
- sabato;
- festivo.

<i>Intervallo di</i>		FERIALE INVERNO	SABATO INVERNALE / FERIALE ESTIVO	FESTIVO INVERNALE	SABATO ESTIVO / AGOSTO FERIALE	FESTIVO ESTIVO
<i>passaggio [minuti]</i>						
05:30	06:00	15	0	0	0	0
06:00	06:30	15	15	0	0	0
06:30	07:00	4	15	0	0	0
07:00	10:00	4	6	15	15	15
10:00	11:00	7	8.5	15	15	15
11:00	12:30	7	8.5	11	11	11
12:30	13:30	7	6.5	11	11	11
13:30	14:30	7	6.5	8	8	8
14:30	17:00	7	8.5	8	8	8
17:00	19:00	7	6.5	8	8	8
19:00	21:00	7	8.5	11	11	11
21:00	00:00	13	13	13	13	13
00:00	01:00	0	13	0	0	0
Corse a orario per direzione		165	139	96	96	96
Corse carico/scarico linea		0	0	0	0	0
Totale corse/giorno		329	278	191	191	191
Totale km prodotti/giorno		2'140	1'804	1'243	1'243	1'243
Giorni equivalenti		178	89	47	36	15
km in linea annui		380'958	160'587	58'437	44'760	18'650
Totale corse/anno		58'609	24'706	8'990	6'886	2'869
Totale corse				102'060		

Tabella 1. Dati di servizio relativi all'intera linea

<i>Intervallo di</i>		FERIALE INVERNO	SABATO INVERNALE / FERIALE ESTIVO	FESTIVO INVERNALE	SABATO ESTIVO / AGOSTO FERIALE	FESTIVO ESTIVO
<i>passaggio [minuti]</i>						
05:30	06:00	15	0	0	0	0
06:00	06:30	15	15	0	0	0
06:30	07:00	7	15	0	0	0
07:00	10:00	7	7.5	15	15	15
10:00	11:00	7	8.5	15	15	15
11:00	12:30	7	8.5	11	11	11
12:30	13:30	7	8	11	11	11
13:30	14:30	7	8	8	8	8
14:30	17:00	7	8.5	8	8	8
17:00	19:00	7	8	8	8	8
19:00	21:00	7	8.5	11	11	11
21:00	00:00	13	13	13	13	13
00:00	01:00	0	13	0	0	0
Corse a orario per direzione		142	126	96	96	96
Corse carico/scarico linea		0	0	0	0	0
Totale corse/giorno		284	252	191	191	191
Totale km prodotti/giorno		1'165	1'032	784	784	784
Giorni equivalenti		178	89	47	36	15
km in linea annui		207'456	91'862	36'860	28'233	11'764
Totale corse/anno		50'599	22'405	8'990	6'886	2'869
Totale corse				91'750		

Tabella 2. Dati di servizio relativi al lotto 1

Nella Tabella 1 e nella Tabella 2 sono riportati i dati relativi ad ogni livello di servizio:

- frequenza di passaggio dei treni nelle diverse fasce orarie;
- numero di corse totali giornaliere per senso di marcia;
- numero di corse necessarie per effettuare i cambi di frequenza;
- giorni equivalenti;
- numero di km percorsi giornalmente e annualmente.

La lunghezza della linea di esercizio risulta pari a circa 4,1 km per il Lotto 1 e 6,5 km per la linea completa.

L'orario di esercizio generalmente è di 19 ore giornaliere con inizio alle ore 5:30 e fine alle ore 24:00. Per la linea completa si stima un totale di 102'060 corse annuali, con una produzione totale espressa in veicoli*km/anno pari a 661'760.

Per l'esercizio del solo primo lotto, invece, viene diradato l'intervallo minimo del servizio, che anziché essere di 4 minuti viene portato a 7 minuti. In questo caso si stima un totale di 91'750 corse annuali, con una produzione totale espressa in veicoli*km/anno pari a 374'891.



3. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Si riportano a seguire i principali documenti utilizzati e messi a disposizione dalla Committenza:

- Capitolato Speciale Prestazionale;
- Figurini dei treni di prima, seconda e terza generazione (riportati al cap. 9);
- Capitolato speciale per i Nuovi Veicoli della Metropolitana di Genova.

Le ipotesi descritte a seguire sono state condivise anche con la Committenza e l'Esercente nel corso delle riunioni periodiche.

4. CRITERI PER LA VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI

I parametri di esercizio sono stati configurati tenendo conto che:

- la marcia dei veicoli è "a vista", assistita da impianto di segnalamento;
- il raggiungimento delle prestazioni della linea dipende, oltre che dalle sue caratteristiche intrinseche (tracciato, accelerazioni, decelerazioni, velocità massima, ecc.), anche dal modo con cui è organizzata la circolazione veicolare e la sua gestione indipendente da quella esistente.

I principali dati di input attraverso i quali sono stati implementati i modelli del tracciato, dei veicoli e della loro reciproca interazione, sono sinteticamente riepilogati nel seguente capitolo.

5. DATI DI TRACCIATO E DI VEICOLO

5.1 Dati di tracciato

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

- Tipo di sede (singolo / doppio binario).
- Limiti di velocità.
- Stazioni.
- Pendenze longitudinali.
- Andamento planimetrico.

descritti in dettaglio nei paragrafi seguenti.

5.1.1 Tipo di sede

Il tracciato è interamente a doppio binario, pertanto dal punto di vista dell'esercizio si faranno le valutazioni che garantiscono l'intervallo di 3 minuti, richiesto dalla Committente diversamente da quanto specificato in Capitolato.

Al fine di ridurre l'infrastruttura in viadotto, e quindi il suo impatto sul contesto, lo schema di capolinea prevede due comunicazioni semplici opposte in avanstazione a Molassana e una sola in retrostazione, che permette sia l'inversione dei treni che la gestione del rimessaggio sul fine corsa. Per permettere



una flessibilità di esercizio è stata considerata anche una comunicazione semplice aggiuntiva a Sud della stazione Ponte Carrega. Lo spazio dove poter inserire tali comunicazioni è fortemente vincolato dalla configurazione del tracciato, che, dovendo seguire l'andamento del Bisagno, presenta un andamento frequentemente in curva con rettilinei di sviluppo spesso limitato. Questo ha portato, a volte, a dover inserire le comunicazioni relativamente distanti dalle stazioni, distanze comunque compatibili con la minima frequenza di esercizio di 3 minuti richiesta.

5.1.2 Limiti di velocità

Per quanto riguarda la velocità di esercizio si è considerata conservativamente una velocità massima di percorrenza di 70km/h, contro i 75km/h circa raggiungibili dai rotabili.

Nella parte iniziale del tracciato, subito dopo la stazione Brignole Sant'Agata, è stato necessario imporre dei limiti di velocità di 20 km/h, per poter percorrere curve di piccolo raggio e con clotoidi di lunghezza limitata, per via delle esigenze di tracciato. Queste presentano, infatti, un raggio di curvatura inferiori o uguali a 150 m, mentre alcune toccano il limite eccezionale dettato da normativa per metropolitane leggere ($R = 50m$), resosi necessario per permettere la fattibilità dell'opera visti i numerosi vincoli esistenti nella parte iniziale del tracciato. A seguire è stato necessario inserire un'ulteriore limitazione a 55 km/h fino alla progressiva 0+315, al fine di limitare le clotoidi e permettere l'inserimento delle comunicazioni in avanzazione Brignole e dei raccordi verticali.

Delle limitazioni a 55 km/h e 60 km/h si sono rese necessarie circa alla pk 0+815 e pk 0+950 per via di curve di raggi circa 200 m e 350 m poco prima della stazione Stadio Marassi. Subito a nord, per l'inserimento dell'opera di attarversamento del Bisagno, si sono rese necessarie due curve di raggio 200 m e 100 m in entrata al ponte, sulle quali è inserito un limite a 50 km/h e 35 km/h.

Generalmente sono poi impostati dei limiti di velocità di 35 km/h o 50 km/h in entrata/uscita dalle stazioni, a partire da Parenzo lato sud. Questo ha permesso l'inserimento del flesso che distanzia le due linee portandole alla distanza minima per avere la banchina centrale. Al fine di limitare lo sviluppo di questo flesso e il suo impatto generale, ne sono state limitate le clotoidi e i raggi di curvatura, sfruttando anche il necessario spazio di frenatura/accelerazione dei treni in prossimità delle stazioni.

Nella tratta tra Parenzo e Staglieno, invece, è stato inserito un limite di velocità a 50 km/h e uno subito successivo a 55 km/h, che hanno permesso di adattare il tracciato alle sottostrutture, che sono legate all'andamento del sottopasso stradale sottostante la linea.

Subito a nord della stazione Ponte Carrega è stato inserito un limite di 60 km/h, necessario a seguire l'andamento dell'argine e quindi delle sottostrutture dell'impalcato.

Nelle valutazioni di esercizio, nell'applicare le limitazioni di velocità, sono state poi considerati i limiti ammessi dal sistema di segnalamento della metropolitana esistente, che prevede codici di velocità solo per 0, 15, 30, 40, 55 e 75 km/h.

5.1.3 Fermate e tempi di sosta

Si individuano poi la posizione delle stazioni e la durata dei relativi tempi di sosta per salita/discesa dei passeggeri, sia per il binario pari che per quello dispari.

BINARIO DISPARI (Sud -> Nord)		
pk	Fermate	sosta
m		s
202.16	BRIGNOLE SANT'AGATA	20
1179.54	STADIO MARASSI	20
2148.56	PARENZO	20
2828.43	STAGLIENOI	20
4289.12	PONTE CARREGA	20
5298.65	SAN GOTTARDO	20
6683.40	MOLASSANA	20

Tabella 3. Binario dispari - Stazioni, fermate, punti notevoli e tempi di fermata

BINARIO PARI (Nord -> Sud)		
pk	Fermate	sosta
m		s
6526.60	MOLASSANA	20
5140.33	SAN GOTTARDO	20
4128.93	PONTE CARREGA	20
2671.93	STAGLIENOI	20
1988.12	PARENZO	20
1016.63	STADIO MARASSI	20
42.50	BRIGNOLE SANT'AGATA	20

Tabella 4. Binario pari - Stazioni, fermate, punti notevoli e tempi di fermata

5.1.4 Pendenze longitudinali

Il modello fa uso anche del profilo longitudinale tramite la posizione dei vertici altimetrici e le pendenze delle livellette adiacenti.

Per il binario dispari si sono assunte le stesse pendenze e gli stessi vertici altimetrici 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.

5.1.5 Andamento planimetrico

Altra limitazione alla velocità di percorrenza della linea 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, arrotondata ai multipli di 5 km/h, che soddisfa contemporaneamente le due condizioni:

- $a_q = v^2 / R \leq 1.0 \text{ m/s}^2$ lungo la curva a raggio costante **R**;
- $da_q/dt = a_q / (L_k / v) \leq 0.40 \text{ m/s}^3$ lungo i raccordi orizzontali di lunghezza **L_k**.

La velocità così calcolata è stata imposta come massima lungo gli elementi di curva a raggio **R** costante.

La presenza delle curve planimetriche influenza anche i valori di accelerazione e frenata del rotabile dato che comporta un incremento della resistenza al moto.

Per il calcolo della resistenza r_c al moto offerta dalle curve planimetriche si adotta la formulazione di Desdonits: $r_c = 0.500 s / R$, con **s** e **R** espressi in m.

In questo caso lo scartamento vale **s** = 1435 mm e si utilizza, per generalizzare l'espressione, la "forma" di Won Röckl: $r_c = a / (R - b)$ avendo posto:

- **a** = 0.500 **s** = 0.7175 m
- **b** = 0.000 m

scartamento	raggio (m)	<i>a</i>	<i>b</i>
1435	≥ 850	0.650	55
	250 ÷ 350	0.650	65
	150 ÷ 250	0.650	30
1000	≥ 60	0.500	30
900	≥ 60	0.380	17
750	≥ 40	0.350	10

Tabella 5. Parametri di calcolo di r_c secondo la formulazione di Won Röckl

Raggio di curva <i>R</i> =	1000	900	800	700	600	500	450	400	350	300	250	200	180
r_c in kg/tonn =	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,7	2,0	2,4	2,8	3,4	4,2	4,5

Tabella 6. Valori di r_c secondo tabella F.S. Italiane

La resistenza r_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 $\Delta a_c = -g r_c$, sempre in decremento.

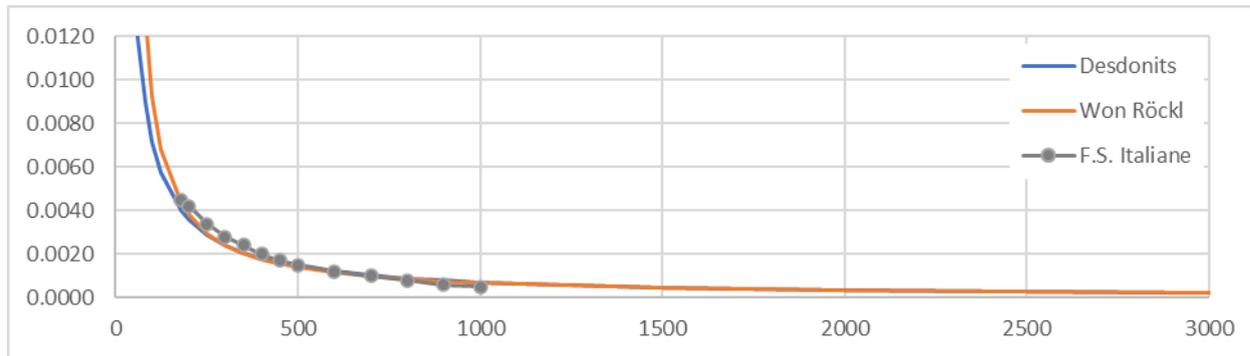


Figura 1. Variazione di r_c con R e raffronto tra le diverse formulazioni

La resistenza r_c dovuta alle curve è ovviamente sempre negativa e si oppone sempre al moto.

5.2 Dati di veicolo

Il rotabile di progetto è stato modellato attraverso i parametri propri dei rotabili attualmente in esercizio, definendo così la curva caratteristica di trazione.

5.2.1 Curva caratteristica di trazione

L'accelerazione del rotabile a carico normale viene assunta pari al valore medio $a_{m,1}$ fino alla velocità V_1 dopo la quale diminuisce gradualmente arrivando al valore $a_{r,2}$ alla velocità V_2 ed al valore residuo $a_{r,3}$ alla velocità massima V_3 :

$V_0 = 0 \text{ km/h} = 0.00 \text{ m/s}$	$a_0 = a_{m,1} = 1.00 \text{ m/s}^2$
$V_1 = 30 \text{ km/h} = 8.33 \text{ m/s}$	$a_1 = a_{m,1} = 1.00 \text{ m/s}^2$
$V_2 = 45 \text{ km/h} = 16.67 \text{ m/s}$	$a_2 = a_{r,2} = 0.50 \text{ m/s}^2$
$V_3 = 70 \text{ km/h} = 25.00 \text{ m/s}$	$a_3 = a_{r,3} = 0.27 \text{ m/s}^2$

Tabella 7. Accelerazione del rotabile in funzione della velocità

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

$$a_d(\mathbf{v}) = \beta_a(\mathbf{v}) a_{m,1}$$

dove $\beta_a(\mathbf{v}) = a_\beta v^2 + b_\beta v + c_\beta$ con

$$a_\beta = 0.0019636 \text{ (m/s)}^{-2}$$

$$b_\beta = -0.10909 \text{ (m/s)}^{-1}$$

$$c_\beta = 1.7727 \text{ (m/s)}^0$$

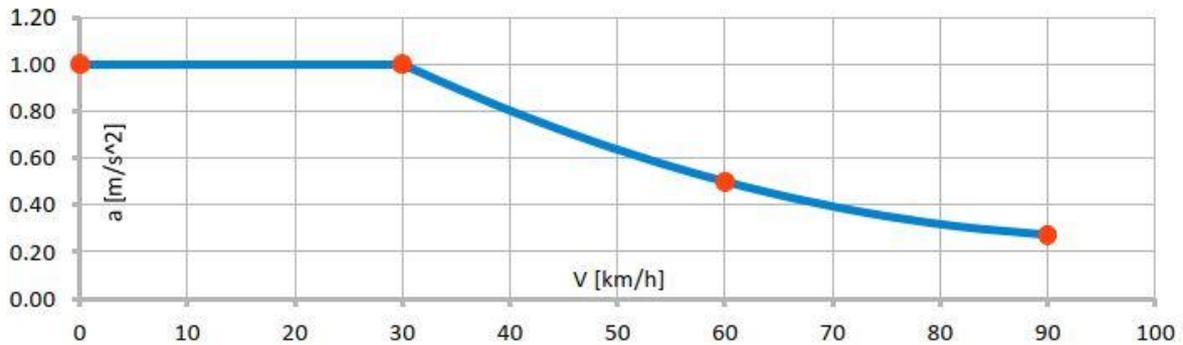


Figura 2. Curva caratteristica di trazione

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 r_c :

$$a_r = \beta_a(v) a_{m,1} - (i + r_c) g$$

5.2.2 Curva caratteristica di frenatura

La frenatura è stata assunta costante in ogni condizione di velocità e pari a $f_m = 1.00 \text{ m/s}^2$.

Il valore della frenatura di calcolo f_r si ricava, poi, tenendo conto della pendenza longitudinale i e della resistenza in curva r_c :

$$f_r = f_m + (i + r_c) g$$

6. CALCOLO DEL TEMPO DI PERCORRENZA

6.1 Percorrenza in marcia tesa

La marcia tesa è il diagramma spazio-velocità che mostra l'andamento della percorrenza del veicolo considerato, dati i vincoli plano-altimetrici e di esercizio, 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:

1. in movimento a velocità costante v_c pari alla massima consentita nel tratto;
2. in fase di accelerazione $a_r(v)$, velocità puntuale pari a v_a ;
3. rotabile in fase di frenatura f_r , velocità puntuale pari a v_f ;
4. rotabile fermo, in stop, con $v_r = 0$.

I punti di stop vengono forniti come dati di INPUT e corrispondono ai punti di fermata obbligatoria quali fermate, stazioni, inizio e fine tracciato.

Anche le velocità massime vengono fornite, tratto per tratto, come dati di INPUT e possono dipendere dalla presenza di deviatori o dall'attraversamento di aree urbane che richiedano limitazioni della velocità.

Altra limitazione alla velocità deriva dalle caratteristiche del tracciato e dai parametri di comfort richiesti.

Tra le tre velocità v_c , 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.

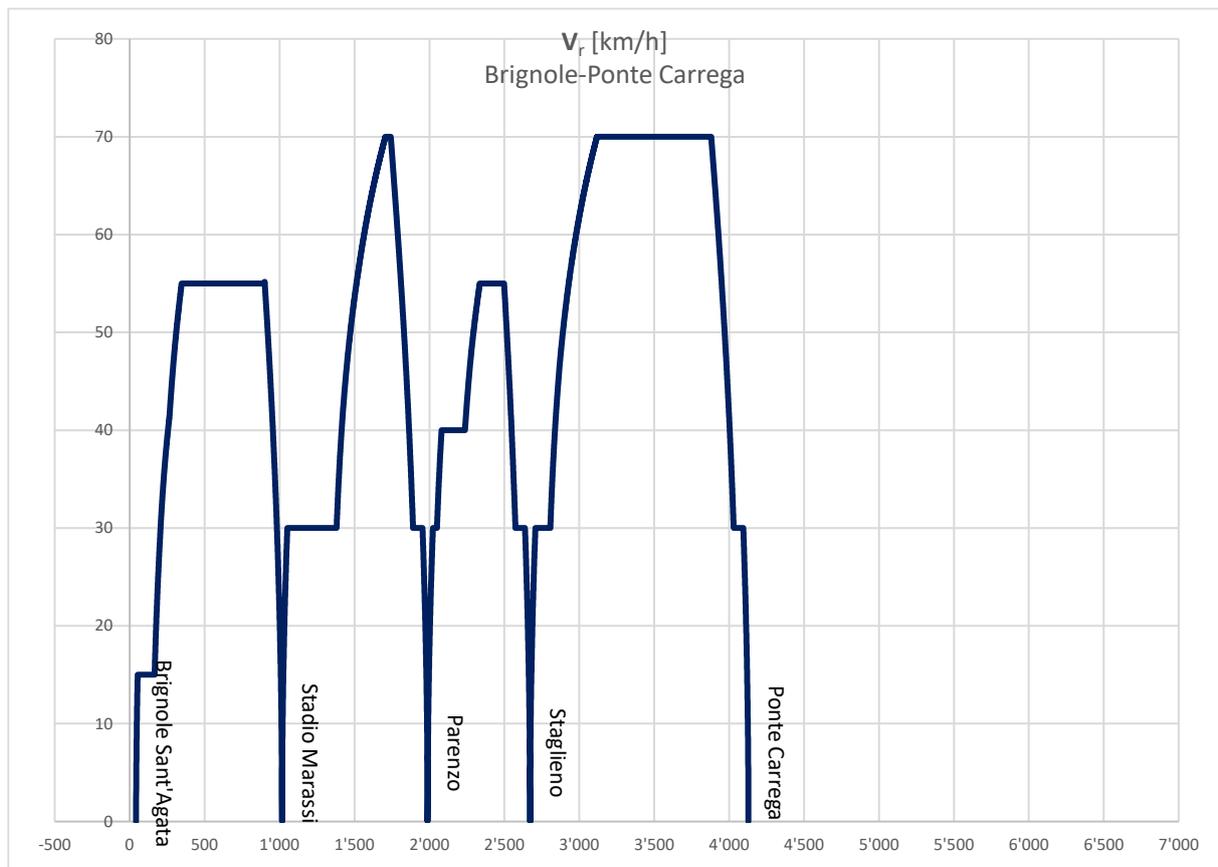


Figura 3. Binario dispari – Diagramma spazio-velocità Brignole Sant'Agata- Ponte Carrega – Lotto 1

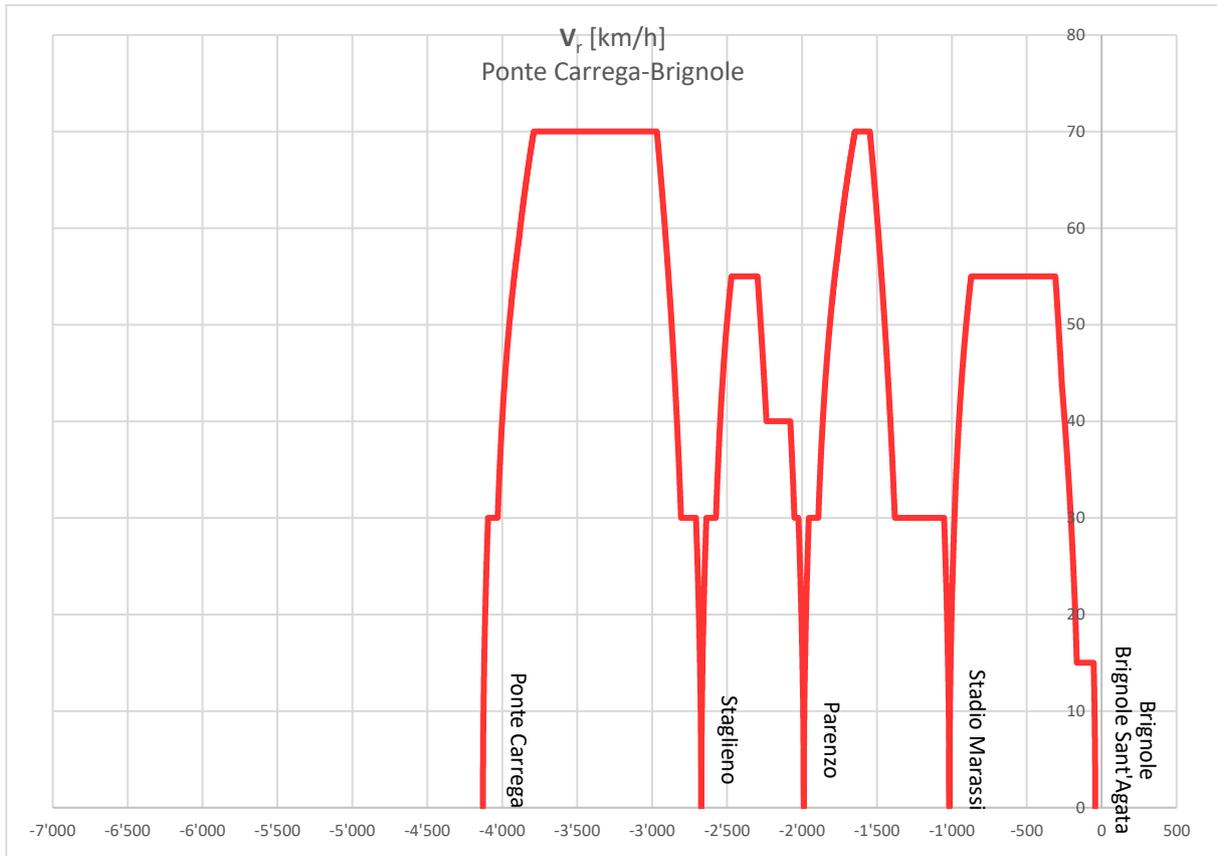


Figura 4. Binario pari – Diagramma spazio-velocità Ponte Carrega-Brignole Sant'Agata – Lotto 1

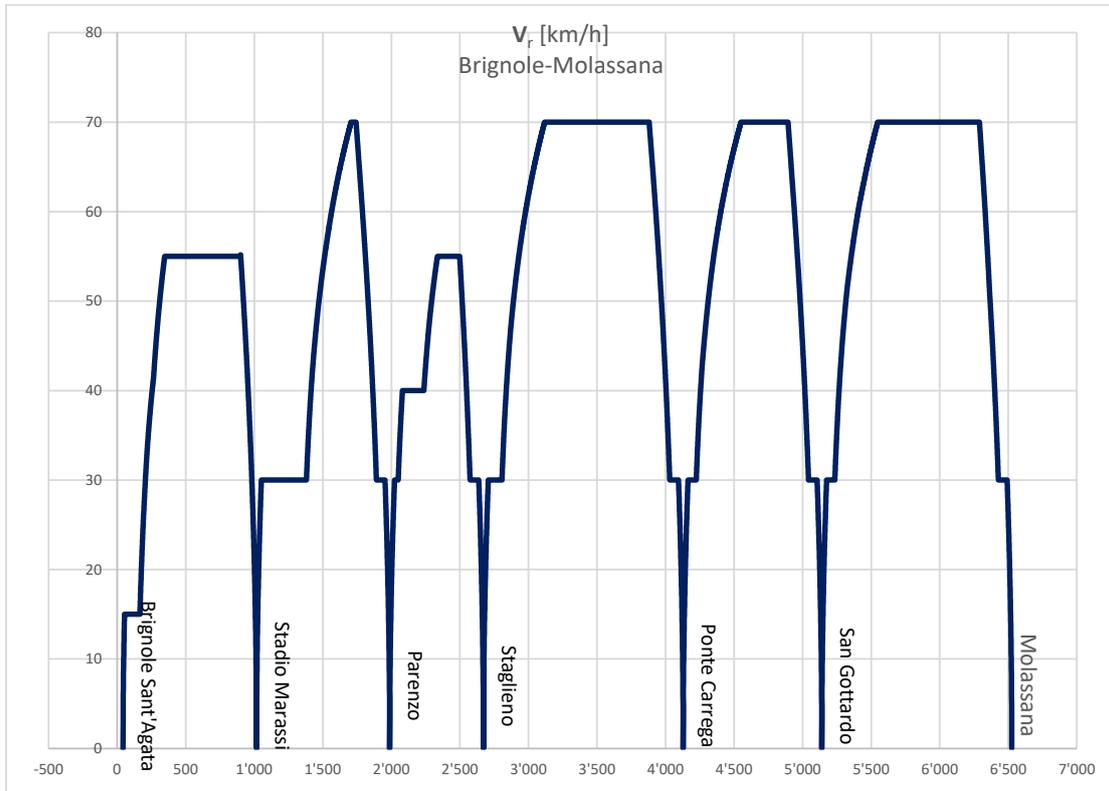


Figura 5. Binario dispari – Diagramma spazio-velocità Brignole Sant'Agata-Molassana

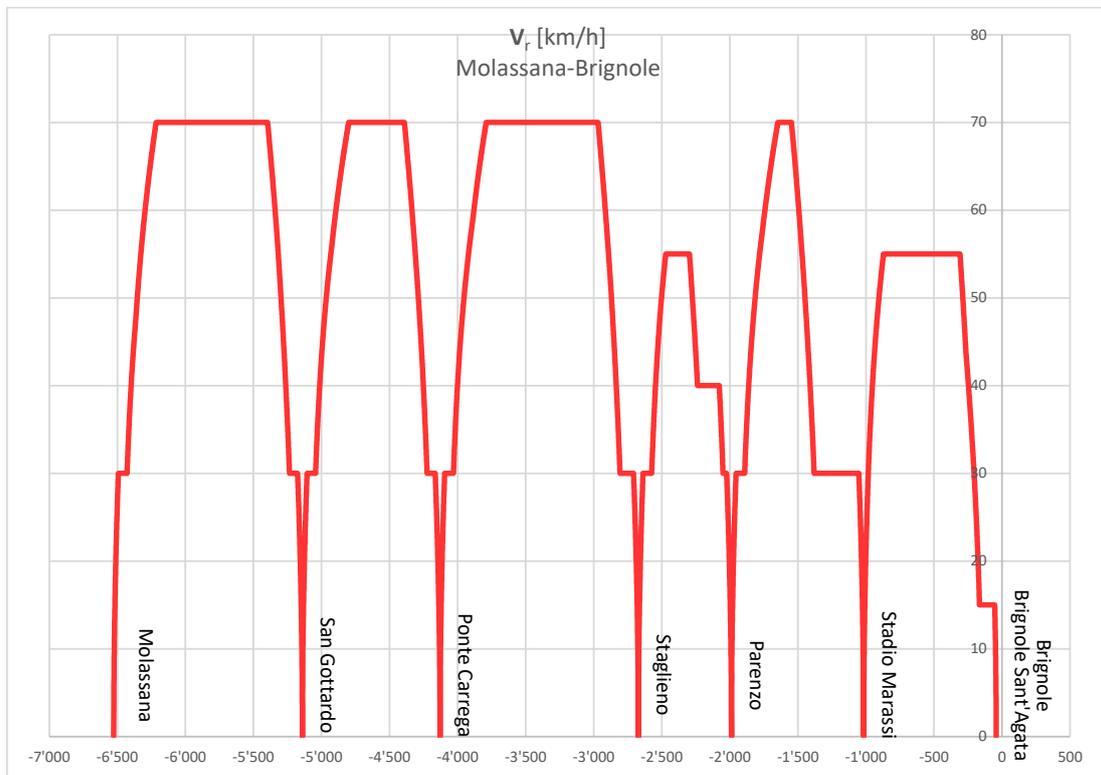


Figura 6. Binario pari – Diagramma spazio-velocità Molassana-Brignole Sant'Agata



Per il lotto 1 il tempo netto di percorrenza della linea in marcia tesa è pari a 370 s (6'10") in direzione Sud-Nord (binario pari) e 369 secondi (6'9") in direzione Nord-Sud, a cui sommare circa 8 s di allungamento dei tempi di regolarità in linea.

Il tempo netto di percorrenza della linea in marcia tesa è pari a 547 s (9'7") in direzione Sud-Nord (binario pari) e 545 secondi (9'5") in direzione Nord-Sud, a cui sommare circa 13 s di allungamento dei tempi di regolarità in linea.

Nelle tabelle seguenti sono riportati i tempi di percorrenza in marcia tesa per ogni intertratta, con la distanza percorsa, il tempo impiegato in condizioni ideali e la velocità media risultante.

DIREZIONE BRIGNOLE - MOLASSANA			
BINARIO DISPARI			
TRATTA da - a	DISTANZA km	TEMPO hh:mm:ss	VELOCITÀ km/h
BRIGNOLE SANT'AGATA – STADIO MARASSI	0.974	0:01:42	34.3
STADIO MARASSI - PARENZO	0.971	0:01:38	35.8
PARENZO - STAGLIENO	0.684	0:01:09	35.8
STAGLIENO – PONTE CARREGA	1.457	0:01:48	48.6
PONTE CARREGA – SAN GOTTARDO	1.011	0:01:21	44.8
SAN GOTTARDO - MOLASSANA	1.386	0:01:41	49.5

Tabella 8. Binario dispari - Tempi intertratta in marcia tesa

DIREZIONE MOLASSANA - BRIGNOLE			
BINARIO PARI			
TRATTA da - a	DISTANZA km	TEMPO hh:mm:ss	VELOCITÀ km/h
MOLASSANA - SAN GOTTARDO	1.386	0:01:41	49.2
SAN GOTTARDO - PONTE CARREGA	1.011	0:01:22	44.5
PONTE CARREGA - STAGLIENO	1.457	0:01:48	48.5
STAGLIENO - PARENZO	0.684	0:01:09	35.8
PARENZO - STADIO MARASSI	0.971	0:01:38	35.6
STADIO MARASSI - BRIGNOLE SANT'AGATA	0.974	0:01:42	34.4

Tabella 9. Binario pari - Tempi intertratta in marcia tesa



6.2 Ulteriori contributi di esercizio

6.2.1 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.

Come tempo di sosta è stato considerato quello standard di 20 s.

Al paragrafo 5.1.3, in Tabella 3 e Tabella 4 è riportato l'elenco di tutte le fermate con le relative progressive e i tempi di sosta assunti.

6.2.2 Margine di recupero in linea

Si considera un tempo aggiuntivo per garantire la regolarità del servizio e recuperare eventuali ritardi corrispondente a **2 s per km** di linea percorso per un totale di circa 13 s per verso di marcia.

6.2.3 Tempo di inversione ai terminali

Per il terminale, il tempo minimo di sosta deve prevedere la discesa dei passeggeri, l'inversione della cabina, la salita passeggeri (**30 s**).

6.2.4 Incremento dei tempi ai capolinea

È necessario inoltre aumentare i tempi di sosta al capolinea, per poter garantire un necessario polmone di secondi atto ad assicurare la possibilità per il rotabile di ripartire in orario, anche se arrivato in lieve ritardo al capolinea. In questo caso si è ipotizzato un incremento di tempo al capolinea non inferiore a **90 s**, pena un eccessivo propagarsi dei ritardi e conseguenti irregolarità di servizio.

7. CALCOLO DEL TEMPO DI GIRO

Il tempo di giro è stato calcolato come la somma dei contributi presentati ai paragrafi precedenti:

- Tempo di marcia tesa;
- Tempi di sosta alle fermate;
- Margine di recupero in linea;
- Tempo aggiuntivo di inversione ai capolinea;
- Allungamento di regolarità in linea ed ai capolinea.

7.1 Intera linea

I tempi di percorrenza fino al capolinea sono riportati nelle seguenti Tabella 10 e Tabella 11:

DIREZIONE Brignole Sant'Agata-Molassana - Direzione Monte	
Lunghezza totale percorsa	$L_{TOT} = 6'484 \text{ m}$
Tempi parziali	

Tempo di marcia tesa	$t_{id} =$	547 s	09:07
Allungamento di regolarità in linea	$t_{rit} =$	13 s	00:13
Perditempo agli incroci semaforizzati	$t_{sem} =$	0 s	00:00
Tempi di sosta alle fermate e capilinea	$t_{ferm} =$	120 s	02:00
Tempo aggiuntivo di inversione	$t_{cl,1} =$	30 s	00:30
Allungamento di regolarità al capolinea	$t_{cl,2} =$	90 s	01:30
Tempi totali	$t_{TOT,n} = t_{id} + t_{ferm} + t_{rit} =$	680 s	11:20
Tempo ideale	$t_{TOT,id} = t_{id} + t_{ferm} + t_{cl,1} =$	697 s	11:37
Tempo effettivo	$t_{TOT,eff} = t_{TOT,id} + t_{rit} + t_{sem} + t_{cl,2} =$	800 s	13:20
Velocità media (commerciale)			
Commerciale ideale lungo direzione monte		$V_{comm,id} =$	33.5 km/h

Tabella 10. Binario dispari - Sintesi delle componenti per il calcolo del tempo di giro

DIREZIONE Molassana-Brignole Sant'Agata - Direzione Valle			
Lunghezza totale percorsa	$L_{TOT} =$	6'484 m	
Tempi parziali			
Tempo di marcia tesa	$t_{id} =$	545 s	09:05
Allungamento di regolarità in linea	$t_{rit} =$	13 s	00:14
Perditempo agli incroci semaforizzati	$t_{sem} =$	0 s	00:00
Tempi di sosta alle fermate e capilinea	$t_{ferm} =$	120 s	02:00
Tempo aggiuntivo di inversione	$t_{cl,1} =$	30 s	00:30
Allungamento di regolarità al capolinea	$t_{cl,2} =$	90 s	01:30
Tempi totali	$t_{TOT,n} = t_{id} + t_{ferm} + t_{rit} =$	678 s	11:18
Tempo ideale	$t_{TOT,id} = t_{id} + t_{ferm} + t_{cl,1} =$	695 s	11:35
Tempo effettivo	$t_{TOT,eff} = t_{TOT,id} + t_{rit} + t_{sem} + t_{cl,2} =$	798 s	13:18
Velocità media (commerciale)			
Commerciale ideale lungo direzione valle		$V_{comm,id} =$	33.6 km/h

Tabella 11. Binario pari - Sintesi delle componenti per il calcolo del tempo di giro



Quindi il **tempo di giro** totale stimato, che include i tempi di sosta ed inversione ai capolinea vale:

$$678 \text{ s} + 680 \text{ s} + 30 \text{ s} + 90 \text{ s} + 30 \text{ s} + 90 \text{ s} = 1598 \text{ s}, \text{ pari a } 26 \text{ minuti e } 38 \text{ secondi.}$$

Pertanto la **velocità media** dei treni sul tempo giro è pari a $2 \times 6484 \text{ m} / 1598 \text{ s} = 8,1 \text{ m/s}$.

7.1.1 Capacità di trasporto e dimensionamento parco rotabili

La stima della flotta necessaria per poter operare il servizio è basata sul tempo di giro e sul cadenzamento previsto per il servizio (4 minuti). Sulla base dei risultati ottenuti, sono stati stimati necessari nell'ora di punta almeno 7 treni in linea, che rappresenta quindi la flotta aggiuntiva minima necessaria, più eventuali scorte in base alle esigenze dell'Esercente.

7.2 Lotto 1

I tempi di percorrenza fino al capolinea sono riportati nelle seguenti Tabella 10 e Tabella 11:

DIREZIONE Brignole Sant'Agata-Molassana - Direzione Monte			
Lunghezza totale percorsa	L_{TOT} =	4'086 m	
Tempi parziali			
Tempo di marcia tesa	t_{id} =	370 s	06:10
Allungamento di regolarità in linea	t_{rit} =	8 s	00:08
Perditempo agli incroci semaforizzati	t_{sem} =	0 s	00:00
Tempi di sosta alle fermate e capilinea	t_{ferm} =	80 s	01:20
Tempo aggiuntivo di inversione	t_{cl,1} =	30 s	00:30
Allungamento di regolarità al capolinea	t_{cl,2} =	90 s	01:30
Tempi totali	t_{TOT,n} = t_{id} + t_{ferm} + t_{rit} =	459 s	07:39
Tempo ideale	t_{TOT,id} = t_{id} + t_{ferm} + t_{cl,1} =	480 s	08:00
Tempo effettivo	t_{TOT,eff} = t_{TOT,id} + t_{rit} + t_{sem} + t_{cl,2} =	579 s	09:39
Velocità media (commerciale)			
Commerciale ideale lungo direzione monte		V_{comm,id} =	30.6 km/h

Tabella 12. Binario dispari - Sintesi delle componenti per il calcolo del tempo di giro – Lotto 1

DIREZIONE Molassana-Brignole Sant'Agata - Direzione Valle			
Lunghezza totale percorsa	L_{TOT} =	4'086 m	
Tempi parziali			
Tempo di marcia tesa	t_{id} =	369 s	06:09
Allungamento di regolarità in linea	t_{rit} =	8 s	00:08
Perditempo agli incroci semaforizzati	t_{sem} =	0 s	00:00
Tempi di sosta alle fermate e capilinea	t_{ferm} =	80 s	01:20



Tempo aggiuntivo di inversione	$t_{cl,1} =$	30 s	00:30
Allungamento di regolarità al capolinea	$t_{cl,2} =$	90 s	01:30
Tempi totali	$t_{TOT,n} = t_{id} + t_{ferm} + t_{rit} =$	457 s	07:39
Tempo ideale	$t_{TOT,id} = t_{id} + t_{ferm} + t_{cl,1} =$	479 s	07:59
Tempo effettivo	$t_{TOT,eff} = t_{TOT,id} + t_{rit} + t_{sem} + t_{cl,2} =$	577 s	09:37
Velocità media (commerciale)			
Commerciale ideale lungo direzione valle		$v_{comm,id} =$	30.7 km/h

Tabella 13. Binario pari - Sintesi delle componenti per il calcolo del tempo di giro – Lotto 1

Quindi il **tempo di giro** totale stimato, che include i tempi di sosta ed inversione ai capolinea vale:

$$459 \text{ s} + 457 \text{ s} + 30 \text{ s} + 90 \text{ s} + 30 \text{ s} + 90 \text{ s} = 1156 \text{ s}, \text{ pari a } 19 \text{ minuti e } 16 \text{ secondi.}$$

Pertanto la **velocità media** dei treni sul tempo giro è pari a $2 \times 4086 \text{ m} / 1156 \text{ s} = 7,1 \text{ m/s}$.

7.2.1 Capacità di trasporto e dimensionamento parco rotabili

La stima della flotta necessaria per poter operare il servizio è basata sul tempo di giro e sul cadenzamento previsto per il servizio (7 minuti). Sulla base dei risultati ottenuti, sono stati stimati necessari nell'ora di punta almeno 3 treni in linea, che rappresenta quindi la flotta aggiuntiva minima necessaria, più eventuali scorte in base alle esigenze dell'Esercente.

8. ORARIO GRAFICO

Sono state riportate le ipotesi di esercizio fatte su un orario grafico che dimostri la congruenza con l'intervallo richiesto.

Ovviamente, come anticipato in precedenza, l'esercizio è indipendente dalla linea esistente. Pertanto il servizio andrà esclusivamente da Brignole Sant'Agata a Ponte Carrega (Lotto 1) o a Molassana (Lotto di completamento) nelle due direzioni.

Il collegamento alla linea esistente ha, infatti, prettamente funzione di collegamento servizio per poter portare i rotabili al deposito/officina di Dinegro.

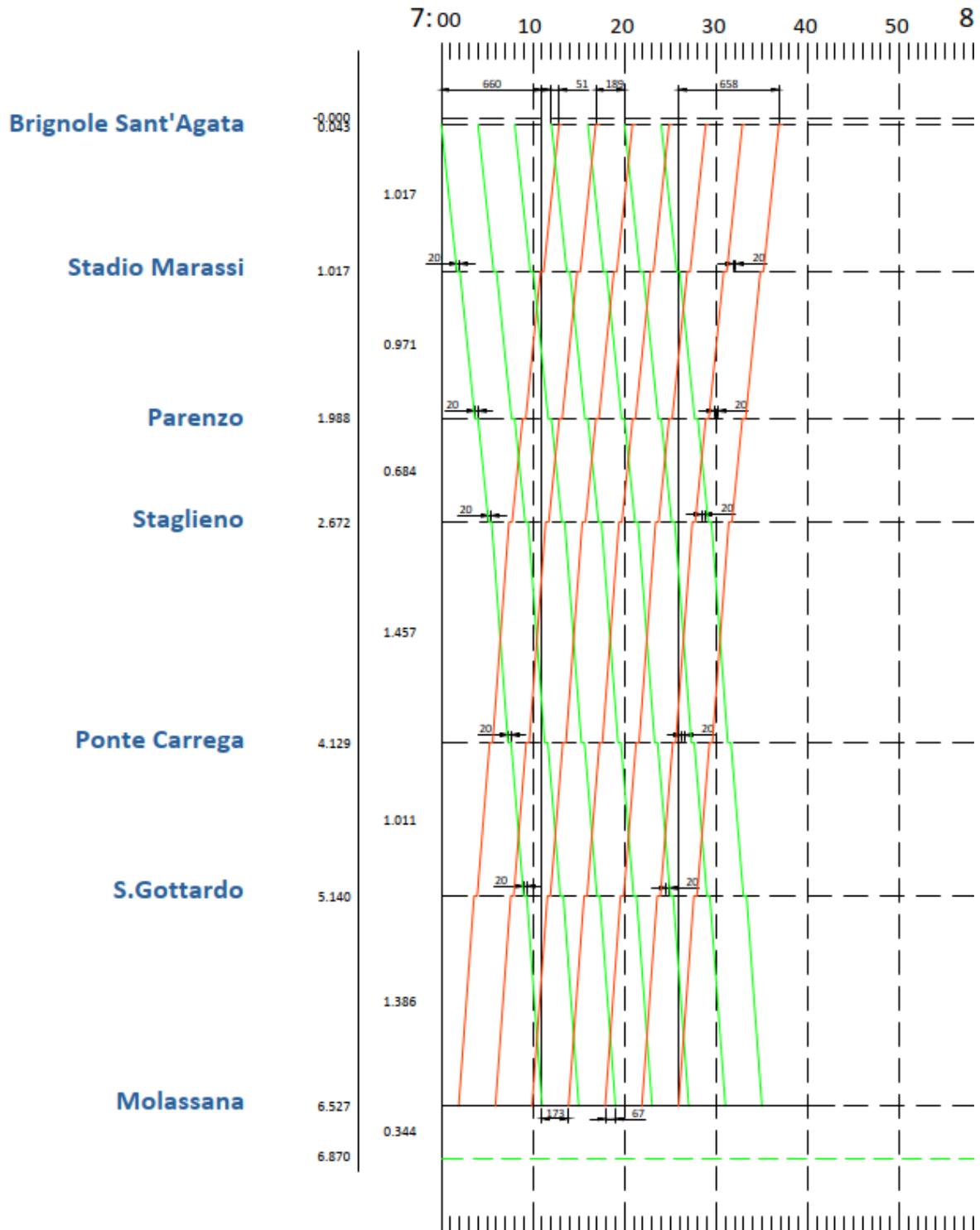


Figura 7. Orario grafico relativo all'intera linea

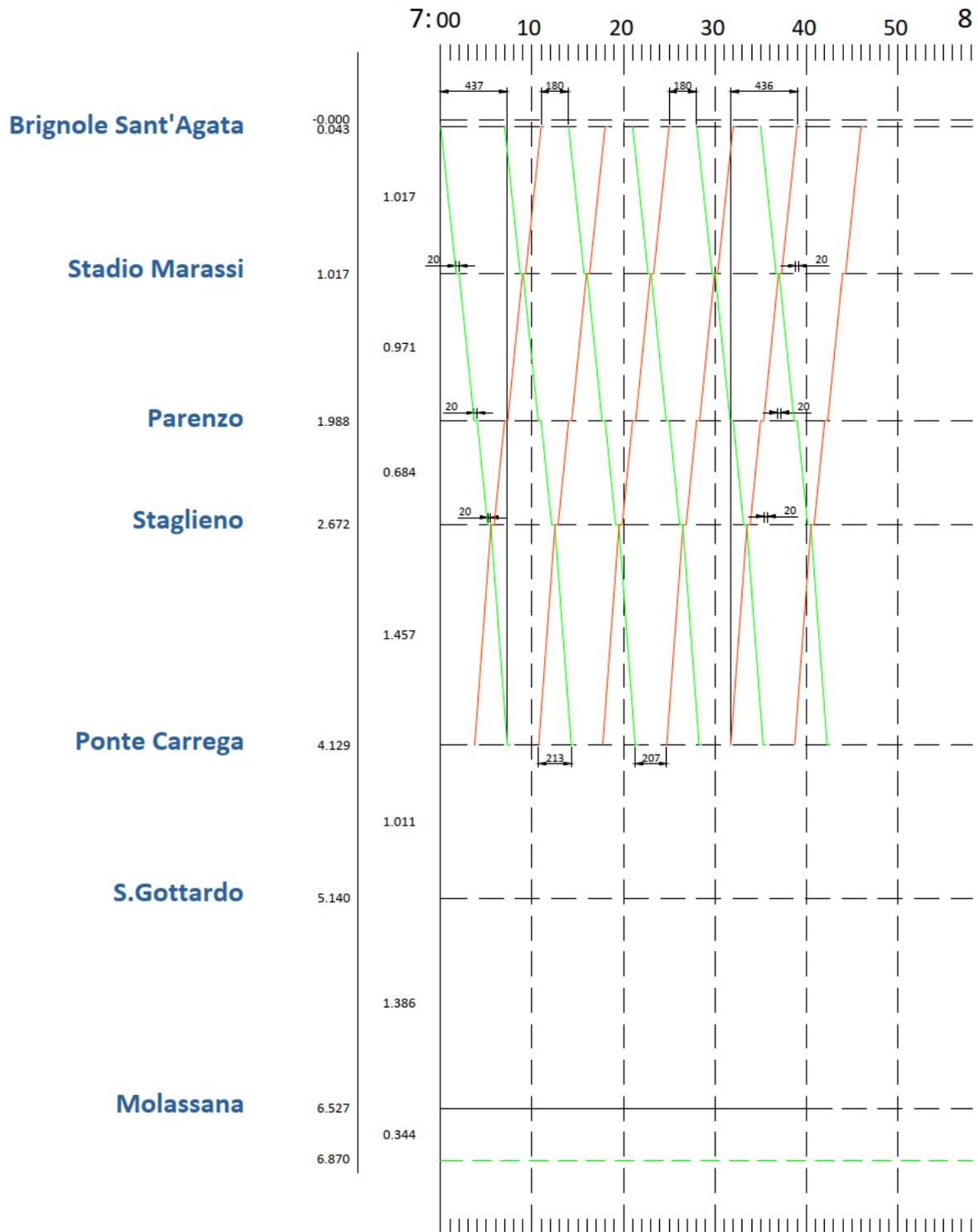


Figura 8. Orario grafico relativo al lotto 1



9. ROTABILI IN ESERCIZIO

Si riportano a seguire i figurini dei rotabili presi a riferimento per la linea in progetto, che, come richiesto dalla Committenza, si riferiscono a quelli di ultima generazione già presenti anche sulla linea esistente. Il documento è stato fornito direttamente dalla Committenza stessa.

