

**MINISTERO  
DELLE INFRASTRUTTURE E DELLA MOBILITÀ SOSTENIBILI  
STRUTTURA TECNICA DI MISSIONE**



**COMUNE DI TORINO**



**METROPOLITANA AUTOMATICA DI TORINO  
LINEA 2 – TRATTA POLITECNICO – REBAUDENGO**

**PROGETTAZIONE DEFINITIVA  
Lotto Generale: Politecnico - Rebaudengo**

<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		 <span style="float: right;">INFRATRASPORTI S.r.l.</span>											
DIRETTORE PROGETTAZIONE Responsabile integrazione discipline specialistiche	IL PROGETTISTA												
Ing. R. Crova Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 6038S	Ing. F. Rizzo Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 9337X	<b>STUDI TRASPORTISTICI E DI ESERCIZIO</b> <b>RELAZIONE GENERALE DI STUDIO DELL'ESERCIZIO</b>											
ELABORATO										REV.		SCALA	DATA
										Int.	Est.		
BIM MANAGER Geom. L. D'Accardi	<b>MT</b>	<b>L2</b>	<b>T1</b>	<b>A0</b>	<b>D</b>	<b>ESE</b>	<b>GEN</b>	<b>R</b>	<b>001</b>	0	2	-	30/06/2023

AGGIORNAMENTI

Fig. 1 di 1

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	VISTO
0	EMISSIONE	21/12/21	Vari autori	G Iemmolo	F.Rizzo	R. Crova
1	EMISSIONE FINALE A SEGUITO DI VERIFICA PREVENTIVA	30/03/23	Vari autori	F. Azzarone	F.Rizzo	R. Crova
2	EMISSIONE FINALE A SEGUITO DI VERIFICA PREVENTIVA	30/06/23	Vari autori	F. Azzarone	F.Rizzo	R. Crova
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

<table border="1"> <tr> <td>LOTTO 0</td> <td>CARTELLA</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>MTL2T1A0D</td> <td>ESEGENR001</td> </tr> </table>						LOTTO 0	CARTELLA	3	2	MTL2T1A0D	ESEGENR001	<p align="center"><b>STAZIONE APPALTANTE</b></p> <p align="center">DIRETTORE DI DIVISIONE INFRASTRUTTURE E MOBILITÀ Ing. R. Bertasio</p> <p align="center">RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. A. Strozzi</p>						
LOTTO 0	CARTELLA	3	2	MTL2T1A0D	ESEGENR001													

**INDICE**

<b>1.</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>6</b>
<b>2.</b>	<b>PANORAMICA DEL SISTEMA E DATI DI INGRESSO</b>	<b>6</b>
<b>2.1</b>	<b>DESCRIZIONE GENERALE DELLA LINEA 2</b>	<b>6</b>
<b>2.2</b>	<b>TRATTA FUNZIONALE REBAUDENGO - POLITECNICO</b>	<b>7</b>
<b>2.3</b>	<b>DATI DELL'INFRASTRUTTURA</b>	<b>11</b>
2.3.1	CARATTERISTICHE DEL TRACCIATO	11
<b>3.</b>	<b>SEZIONE 1 – SINTESI CARATTERISTICHE PROGETTO PFTE</b>	<b>12</b>
<b>3.1</b>	<b>PROGRESSIVE DEL TRACCIATO DELLA LINEA - PFTE</b>	<b>12</b>
3.1.1	PROGRESSIVE DELLE STAZIONI	12
3.1.2	PROFILO ALTIMETRICO	13
3.1.3	PROGRESSIVE DELLE CURVE E LIMITAZIONI DELLA VELOCITÀ	15
<b>3.2</b>	<b>PRESTAZIONI DELLA LINEA - PFTE</b>	<b>18</b>
3.2.1	TEMPI DI SOSTA	18
3.2.2	TEMPI DI MARCIA E VELOCITÀ COMMERCIALE	18
<b>3.3</b>	<b>TEMPO GIRO E FLOTTA TRATTA REBAUDENGO – POLITECNICO PFTE</b>	<b>20</b>
<b>4.</b>	<b>SEZIONE 2 – CARATTERISTICHE PROGETTO DEFINITIVO</b>	<b>22</b>
<b>4.1</b>	<b>PROGRESSIVE DEL TRACCIATO DELLA LINEA</b>	<b>22</b>
4.1.1	PROGRESSIVE DELLE STAZIONI	22
4.1.2	PROFILO ALTIMETRICO	23
4.1.3	PROGRESSIVE DELLE CURVE E LIMITAZIONI DELLA VELOCITÀ	26
4.1.4	INVERSIONE AI CAPILINEA	28
4.1.4.1	Criteri generali	28
4.1.4.2	Capolinea Rebaudengo	28
4.1.4.3	Capolinea Politecnico	29
4.1.5	COMUNICAZIONI PER SERVIZI PARZIALI TEMPORANEI	30
<b>4.2</b>	<b>DATI SUL NUMERO DI PASSEGGERI LUNGO LA TRATTA REBAUDENGO - POLITECNICO</b>	<b>31</b>
<b>4.3</b>	<b>DIMENSIONAMENTO PRELIMINARE E IMPATTI SUL FLUSSO PASSEGGERI</b>	<b>33</b>
4.3.1.1	Dettagli sul Tempo di Giro	34
4.3.1.2	Dimensionamento della Flotta e dell'Headway	34
4.3.1.3	Capacità Oraria in funzione dei parametri base dimensionamento della flotta	35
4.3.1.4	Definizione e Calcolo del tempo complessivo di giri per singolo treno.	37
4.3.1.5	Calcolo ottimale della flotta sulla base dei dati di Trasporto e della frequenza	37
4.3.2	MODELLI DI TRAZIONE	39
4.3.2.1	Profilo velocità a tratti costanti – Modello Trapezio	39
4.3.2.2	Aggiornamento Tabella Tempi con il profilo velocità semplificato	40



4.3.2.3 Analisi dinamica preliminare : Vmax e Pmax per intertratta in funzione della Capacità. 42

<b>4.4</b>	<b>ORARI DI SERVIZIO</b>	<b>45</b>
<b>4.5</b>	<b>IPOTESI E METODI DI CALCOLO</b>	<b>46</b>
4.5.1	VELOCITÀ DI ESERCIZIO	46
4.5.2	FREQUENZA DELL'ESERCIZIO	47
4.5.3	TEMPO DI SOSTA IN STAZIONE	48
<b>4.6</b>	<b>TEMPO DI MARCIA</b>	<b>48</b>
4.6.1	CRITERI GENERALI	48
<b>4.7</b>	<b>ANALISI DELL'INVERSIONE DEI TRENI</b>	<b>49</b>
<b>4.8</b>	<b>TEMPO DI GIRO E FLOTTA</b>	<b>52</b>
<b>4.9</b>	<b>PRESTAZIONI DELLA LINEA</b>	<b>53</b>
4.9.1	TEMPI DI SOSTA	53
4.9.2	TEMPI DI MARCIA E VELOCITÀ COMMERCIALE	53
<b>4.10</b>	<b>TEMPI DI INVERSIONE</b>	<b>54</b>
4.10.1	REBAUDENGO E POLITECNICO	54
<b>4.11</b>	<b>TEMPO GIRO E FLOTTA TRATTA REBAUDENGO - POLITECNICO</b>	<b>56</b>

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione generale di studio dell'esercizio	02_MTL2T1A0DESEGENR001-0-2

## INDICE DELLE FIGURE

	9
	29
	30
	31
Figura 1. Corografia della Linea 2	
Figura 2. Lunghezze per l'inversione del treno a Rebaudengo	
Figura 3. Step dell'inversione del treno	31
Figura 4. Pax saliti e discesi per stazione, anno 2030, direzione da sud verso nord, pax/h [Fonte: elaborazioni consulenti]	32
Figura 5. Pax saliti e discesi per stazione, anno 2030, direzione da nord verso sud , pax/h [Fonte: elaborazioni consulenti]	33
Figura 6. Pax saliti e discesi per stazione, anno 2030, bidirezionale, pax/h [Fonte: elaborazioni consulenti]	36
Figura 7. Interdipendenze funzionali nel modello dinamico	36
Figura 8. PPHPD in funzione dell'Headway	37
Figura 9. Tempo di giro AW2 e AW3 per 10, 11, 12 treni	40
Figura 10. Tempo di giro AW2 e AW3 per 10, 11, 12 treni	42
Figura 11. Profilo di velocità a trapezio	49
Figura 12. Inviluppo delle velocità massime per intertratta	50
Figura 13. Configurazione del capolinea	50
Figura 14. Configurazione manovra da banchina 1	50
Figura 15. Configurazione manovra verso banchina 2	51
Figura 16. Grafico di studio dell'inversione del treno	54
Figura 17. Grafico di studio dell'inversione del treno al capolinea	54
Figura 18. Simulazione dell'inversione dei treni ai capilinea Rebaudengo e Politecnico	55

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione generale di studio dell'esercizio	02_MTL2T1A0DESEGENR001-0-2

## INDICE DELLE TABELLE

	Tabella di riepilogo	11
	Progressive delle stazioni da Politecnico a Rebaudengo	12
	Progressive delle pendenze da Politecnico a Rebaudengo	13
	Raggi di curvatura del tracciato da Politecnico a Rebaudengo	15
	Limitazioni della velocità lungo il tracciato tra Politecnico e Rebaudengo	17
Tabella 1.	Progressive delle stazioni da Politecnico a Rebaudengo	22
Tabella 2.	Progressive delle pendenze da Politecnico a Rebaudengo	23
Tabella 3.	Raggi di curvatura del tracciato da Politecnico a Rebaudengo	26
Tabella 4.	Limitazioni della velocità lungo il tracciato tra Politecnico e Rebaudengo	27
Tabella 11.	Punti caratteristici dello scambio	30
Tabella 12.	Pax saliti e discesi, anno 2030, bidirezionale, pax/h	
Tabella 13.		32
Tabella 14.		38
Tabella 15.	Tempi di giro AW2 e AW3 per 10, 11, 12 treni	
Tabella 16.	Numero treni necessari <small>(Fonte: elaborazioni consulenti)</small>	38
Tabella 17.	Dettagli dinamica di base e tempi	41
Tabella 18.	Dettagli Vmax e Pmax T giro 36	43
Tabella 19.	Dettagli Vmax e Pmax T giro 34	44
Tabella 20.	Analisi ottimizzata T giro 34 min. - tratta completa	44
Tabella 21.	Analisi ottimizzata T giro 31 min.- tratta completa	44
Tabella 22.	Numero di giorni per giornata tipo	45
Tabella 23.	Orari di apertura e chiusura del servizio	45
Tabella 24.	Step dell'inversione del treno	49
Tabella 25.	Definizione dei tempi e dei margini	51
Tabella 26.	Tempi e velocità commerciali (Politecnico – Rebaudengo)	53
Tabella 27.	Tempo giro (POL – REB)	56
Tabella 28.	Flotta totale dei rotabili tratta Rebaudengo - Politecnico	57
Tabella 29.	- Carosello treni per Tgiro= 2160 s. : tratteggiate le SSE Verona andata e ritorno	57
Tabella 30.		
Tabella 31.		

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione generale di studio dell'esercizio	02_MTL2T1A0DESEGENR001-0-2

## 1. PREMESSA

Lo scopo del documento è descrivere il piano di esercizio della tratta funzionale Rebaudengo – Politecnico della Linea 2 della metropolitana di Torino, riportando i principi più rilevanti e i parametri di servizio assunti, definendo i seguenti argomenti:

- le caratteristiche dell'esercizio e la possibile offerta che può essere fornita (frequenze, tempo di corsa, tempo di sosta in stazione, flotta di rotabili, velocità commerciale, requisiti dei capilinea), in riferimento agli elementi principali della linea;
- alcuni principi di esercizio in condizioni normali e degradate.
- Analisi di dettaglio dei requisiti dinamici e energetici in funzione di una ottimizzazione della tabella oraria.

Il presente documento fornisce i parametri operativi necessari per avere una pianificazione efficiente e sostenibile finanziariamente.

Si è proceduto a strutturare la Relazione in due parti primarie:

- SEZIONE 1 – SINTESI CARATTERISTICHE PROGETTO PFTE
- SEZIONE 2 – CARATTERISTICHE PROGETTO DEFINITIVO

La Sezione 1 mantiene tutte le defizioni e caratteristiche contenute nella Relazione Generale sullo Studio dell'Esercizio: 02\_MTL2T1A0DESEGENR001-0-0 che conteneva i dati di base relativi al progetto PFTE.

La Sezione 2 integra gli aggiornamenti di tracciato e gli studi aggiuntivi di modellazione effettuati in sede di Progetto Definitivo e pertanto rappresenta il nuovo sviluppo progettuale relativo alla presente fase.

## 2. PANORAMICA DEL SISTEMA E DATI DI INGRESSO

### 2.1 Descrizione generale della Linea 2

La linea 2 della metropolitana di Torino sarà di tipo "automatico leggero" senza conducente, di caratteristiche simili a quelle della linea 1, ma si differenzierà necessariamente da essa in termini di "sistema ferroviario" e di dimensioni dei rotabili, anche per tener conto dello sviluppo tecnologico intervenuto.

La linea guida progettuale è stata quella di stabilire una geometria delle stazioni e della galleria che potesse esse compatibile con tutti i principali sistemi di metropolitana automatica presenti sul mercato pur mantenendo le linee guida introdotte nel precedente paragrafo. Particolare attenzione è stata data alle possibili evoluzioni tecnologiche che interverranno, sia nei software di gestione, che nella costruzione stessa del sistema.

La Città di Torino, in data 28/10/2020 ha stipulato specifica convenzione con il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti che regola le modalità di erogazione del finanziamento di 828

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione generale di studio dell'esercizio	02_MTL2T1A0DESEGENR001-0-2

milioni di Euro, assegnato dalla Legge Finanziaria e destinato alla progettazione definitiva della tratta Rebaudengo – Politecnico e alla realizzazione della sub-tratta Rebaudengo – Novara.

Con Delibera della Giunta Comunale n. mecc. 202002495/34 in data 17 novembre 2020 è stato approvato lo schema del Contratto regolante i rapporti tra Città di Torino e Infratrasporti.To s.r.l. per l'affidamento dei servizi di ingegneria inerenti la progettazione definitiva della tratta Politecnico – Rebaudengo della linea 2 di metropolitana.

In esito agli sviluppi della progettazione che hanno portato agli studi dei possibili prolungamenti, la lunghezza delle varie tratte funzionali prese in esame è approssimativamente di 20 km da Orbassano Centro a Rebaudengo e 17 km da Anselmetti a Pescarito, senza considerare i possibili rami di collegamento al deposito. La distanza commerciale (distanza tra le banchine delle stazioni di fine tratta) è circa 19,910 km da Orbassano Centro a Rebaudengo e 17,160 km da Anselmetti a Pescarito.

Da Orbassano Centro a Rebaudengo sono presenti lungo la linea 28 stazioni e l'interstazione media è di 774 m. Infine da Anselmetti a Pescarito, ci sono 23 stazioni lungo la linea e l'interstazione media è di 803 m.

La linea presenta un bivio a nord della stazione Cimarosa/Tabacchi, da cui partono le diramazioni verso Rebaudengo e San Mauro, che formano la caratteristica configurazione ad "Y".

## 2.2 Tratta funzionale Rebaudengo - Politecnico

La prima tratta funzionale della Linea 2 della Metropolitana di Torino, inclusa tra le stazioni Rebaudengo e Politecnico, si colloca interamente nel territorio comunale di Torino, presenta una lunghezza di circa 9,7 km, e, procedendo da nord verso sud, si sviluppa a partire dalla stazione di corrispondenza con la stazione F.S. Rebaudengo-Fossata, prosegue lungo la ex trincea ferroviaria posta tra via Gottardo e via Sempione dove sono ubicate tre stazioni Giulio Cesare, S. Giovanni Bosco e Corelli. Da quest'ultima, il tracciato passa lungo via Bologna, al fine di servire meglio gli insediamenti dell'area interessata esistenti e futuri con le fermate intermedie Cimarosa-Tabacchi, Bologna e Novara. Dopo la fermata Novara, il tracciato si allontana dall'asse di Via Bologna mediante una curva in direzione sud-est e si immette sotto l'asse di Corso Verona fino alla Stazione Verona ubicata in Largo Verona. Dopo la fermata Verona, sotto attraversato il fiume Dora e Corso Regina Margherita, la linea entra nel centro storico della città con le fermate Mole/Giardini Reali e Carlo Alberto, portandosi poi in corrispondenza di via Lagrange, sino ad arrivare alla stazione Porta Nuova, posta lungo via

- Nizza, che sarà una fermata di corrispondenza sia con la linea F.S. che con la Linea 1 della metropolitana di Torino. Dalla fermata Porta Nuova il tracciato prosegue lungo l'allineamento di via Pastrengo, per poi curvare in direzione sud per portarsi su corso Duca degli Abruzzi fino alla fermata Politecnico.

La prima tratta funzionale è costituita dalle seguenti opere:  
13 stazioni sotterranee

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione generale di studio dell'esercizio	02_MTL2T1A0DESEGENR001-0-2

13 pozzi intertratta aventi funzione di ventilazione

1 pozzo di ventilazione ad inizio tratta incluso nel manufatto del deposito/officina Rebaudengo

1 uscita di emergenza ed accesso dei soccorsi

2 pozzi terminali provvisori, di cui uno a fine tratta funzionale per l'estrazione della TBM, posto all'estremità del tronchino in retrostazione Politecnico e l'altro alla fine della galleria a foro cieco realizzata con metodo tradizionale.

La galleria di linea è costituita da:

- ✓la galleria naturale a foro cieco realizzata con scavo tradizionale per una lunghezza complessiva di 570m circa, che va dal manufatto di retrostazione Rebaudengo alla Stazione Rebaudengo e da quest'ultima al pozzo terminale PT2 ubicato alla fine dello scavo a foro cieco e costituisce l'inizio della galleria artificiale;

- ✓la galleria artificiale in Cut&Cover ad uno o due livelli, per una lunghezza complessiva di circa 2.390m che collega il pozzo PT2 e le stazioni Giulio Cesare, San Giovanni Bosco, Corelli, Cimarosa/Tabacchi, Bologna fino al manufatto in retrostazione Bologna che include anche il pozzo Novara;

- ✓la galleria naturale realizzata in scavo meccanizzato mediante una TBM (Tunnel Borin Machine) avente diametro di 10,00m, che andrà dal Pozzo Novara fino al tronchino in retrostazione Politecnico per una lunghezza complessiva di circa 5.175m;

- il manufatto in retrostazione Rebaudengo, avente la funzione di deposito-officina, per la manutenzione ordinaria programmata sui treni, oltre che il parcheggio di 7 treni in stalli predisposti e complessivamente di 10 treni a fine servizio;

la predisposizione per la realizzazione del manufatto di bivio nella diramazione nord verso San Mauro Torinese.



Figura 1. Corografia della Linea 2

Al fine di rendere funzionale la tratta, è stato necessario introdurre le seguenti opere/modifiche rispetto al PFTE:

- Ampliamento del manufatto Rebaudengo, modificandone la configurazione al fine di disporre di un deposito-officina, caratterizzato da un nuovo layout funzionale che permetta di eseguire gli interventi di manutenzione ordinaria programmata sui treni, oltre che il parcheggio di 7 treni in stalli predisposti e complessivamente di 10 treni a fine servizio.
- La stazione Politecnico è stata approfondita di un livello, passando quindi dalla tipologia a 3 livelli ad una tipologia a 4 livelli interrati; questa modifica, derivante dall'abbassamento della livelletta nel tratto compreso tra le stazioni adiacenti a quella del Politecnico, ovvero Stazione Caboto e Stazione Pastrengo, si è resa necessaria al fine di;
  - o realizzare un tronchino in retrostazione a sud della Stazione Politecnico, avente la duplice funzione di permettere durante il servizio della linea l'inversione di marcia dei treni ed a fine servizio il parcheggio in linea di 4 vetture;

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione generale di studio dell'esercizio	02_MTL2T1A0DESEGENR001-0-2

- mantenere la quota della livelletta presso la stazione Caboto (non di questa tratta), vincolata dallo sviluppo verso sud del tracciato;
- Introduzione di un pozzo di estrazione della Tunnel Borin Machine (TBM) che scaverà la galleria di linea nella tratta dal fondo del manufatto della stazione Bologna in direzione Politecnico.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione generale di studio dell'esercizio	02_MTL2T1A0DESEGENR001-0-2

## 2.3 Dati dell'infrastruttura

La seguente tabella riassume le principali informazioni alla base del presente studio.

**Tabella di riepilogo**

<b>LINEA 2 DI TORINO</b>	
Progressiva iniziale <small>Tabella 1</small>	5.800 m
Progressiva finale	15.472,03
Lunghezza Rebaudengo - Politecnico	9,67 km
Numero di stazioni Rebaudengo - Politecnico	13
Interstazione media Rebaudengo - Politecnico	0,744 km
Massima velocità in esercizio	80 km/h

### 2.3.1 Caratteristiche del tracciato

Il tracciato è un elemento strategico per una progettazione che garantisca velocità, comfort e sicurezza dell'esercizio dei treni.

Il progetto prevedrà:

- banchine laterali come richiesto da capitolato a base di gara;
- due stazioni terminali (Politecnico e Rebaudengo) attrezzate con apparecchi di binario necessari per l'inversione dei treni da un binario all'altro in retrostazione. Tuttavia, dove possibile, alcuni scambi saranno previsti anche in entrata di stazione e saranno utili in caso di treni in ritardo (in corrispondenza della Stazione Bologna, in caso di attivazione parziale del Lotto Rebaudengo – Bologna);
- postazioni di ricovero dei treni nel retrostazione Politecnico, che saranno utili per la sosta dei treni non in servizio. Inoltre, saranno utilizzate per consentire la sosta di treni da inserire sulla linea in caso di emergenza.
- una connessione al deposito, che assicuri che i treni entranti o uscenti non disturbino l'esercizio sulla via principale;
- alcuni scambi lungo la linea, allo scopo di consentire l'inversione dei treni in caso di ostruzione della linea stessa.

I binari di corsa sono definiti nel seguente modo:

- binario 1 da Politecnico a Rebaudengo;
- binario 2 da Rebaudengo a Politecnico.

I treni quindi marceranno sul binario di destra del tracciato.



### 3. SEZIONE 1 – SINTESI CARATTERISTICHE PROGETTO PFTE

#### 3.1 Progressive del tracciato della linea - PFTE

Le progressive elencate nel seguito fanno riferimento a quelle stabilite nel PFTE, coerenti con un unico 0 posto in mezzeria alla stazione Anselmetti.

##### 3.1.1 Progressive delle stazioni

La seguente tabella fornisce le progressive delle stazioni con riferimento al punto medio della banchina. Le banchine avranno una lunghezza di 60 m e i punti di fermata del treno saranno alle estremità di esse.

#### Progressive delle stazioni da Politecnico a Rebaudengo

Tabella :	STAZIONE N.	NOME STAZIONE	PROGRESSIVA PFTE (KM)
	1	POLITECNICO	6,168
	2	PASTRENGO	7,067
	3	PORTA NUOVA	7,978
	4	CARLO ALBERTO	8,937
	5	MOLE/GIARDINI REALI	9,529
	6	VERONA	10,524
	7	NOVARA	11,249
	8	BOLOGNA	11,886
	9	CIMAROSA/TABACCHI	12,327/12,342
	10	CORELLI	13,074
	11	SAN GIOVANNI BOSCO	13,654
	12	GIULIO CESARE	14,102
	13	REBAUDENGO	14,919

**3.1.2 Profilo altimetrico**

La seguente tabella riassume le progressive delle livellette del profilo altimetrico come da PFTE.

Si segnala che, in fase di avanzamento della progettazione definitiva, le pendenze potrebbero subire delle ottimizzazioni.

**Progressive delle pendenze da Politecnico a Rebaudengo**

Tabella 3.

PROGRESSIVA INIZIALE (m)	PROGRESSIVA FINALE (m)	LUNGHEZZA (m)	PENDENZA (‰)
5562,37	5770,46	208,09	40,000
5770,46	5836,70	66,24	24,000
5836,70	5971,55	134,85	0,000
5971,55	6137,80	166,25	40,000
6137,80	6326,27	188,47	0,000
6326,27	6679,59	353,32	-39,000
6679,59	6750,61	71,02	-10,000
6750,61	6833,71	83,10	-6,000
6833,71	6961,09	127,38	6,000
6961,09	7037,69	76,60	33,000
7037,69	7204,85	167,16	0,000
7204,85	7477,17	272,32	-40,000
7477,17	7929,00	451,83	7,000
7929,00	8088,92	159,92	0,000
8088,92	8220,36	131,44	-14,000
8220,36	8316,46	96,10	-24,000
8316,46	8530,98	214,52	-40,000
8530,98	8658,39	127,41	18,000
8658,39	8907,60	249,21	30,000
8907,60	9002,20	94,60	0,000



PROGRESSIVA INIZIALE (m)	PROGRESSIVA FINALE (m)	LUNGHEZZA (m)	PENDENZA (‰)
9002,20	9178,54	176,34	-13,000
9178,54	9446,00	267,46	-27,000
9446,00	9624,86	178,86	0,000
9624,86	9936,06	311,20	-32,000
9936,06	10152,88	216,82	-6,000
10152,88	10488,70	335,82	40,000
10488,70	10583,50	94,80	0,000
10583,50	10867,10	283,60	-8,000
10867,10	11178,70	311,60	-6,000
11178,70	11276,75	98,05	0,000
11276,75	11560,17	283,42	6,000
11560,17	11831,55	271,38	30,000
11831,55	11942,30	110,75	0,000
11942,30	12065,14	122,84	21,500
12065,14	12298,77	233,63	-12,000
12298,77	12375,57	76,80	0,000
12375,57	12428,17	52,60	8,000
12428,17	12513,37	85,20	15,000
12513,37	12650,24	136,87	33,000
12650,24	13008,28	358,04	10,000
13008,28	13121,58	113,30	0,000
13121,58	13473,83	352,25	6,000
13473,83	13599,68	125,85	10,000
13599,68	13701,68	102,00	0,000



PROGRESSIVA INIZIALE (m)	PROGRESSIVA FINALE (m)	LUNGHEZZA (m)	PENDENZA (‰)
13701,68	13874,58	172,90	6,000
13874,58	14048,04	173,46	10,000
14048,04	14150,04	102,00	0,000
14150,04	14513,40	363,36	6,000
14513,40	14741,91	228,51	-20,000
14741,91	15464,53	722,62	0,000

### 3.1.3 Progressive delle curve e limitazioni della velocità

La massima velocità nelle curve è calcolata in relazione al loro raggio di curvatura. Di seguito sono riportate solamente le curve che comportano una limitazione della velocità massima di esercizio. È inoltre importante evidenziare che il treno non può iniziare ad accelerare finché la sua coda non abbia lasciato il tratto a velocità limitata.

Tabella 4.

#### Raggi di curvatura del tracciato da Politecnico a Rebaudengo

CURVA N.	PROGRESSIVA INIZIALE PFTE (m)	PROGRESSIVA FINALE PFTE (m)	RAGGIO (m)
1	5768,92	6255,37	250
2	6255,37	6690,69	250
3	6690,69	6795,70	250
4	6795,70	6835,85	250
5	6835,85	7313,42	250
6	7313,42	7734,85	300
7	7734,85	8066,41	300
8	8066,41	8092,91	350
9	8092,91	8192,89	350
10	8192,89	8224,84	350
11	8224,84	8589,40	350



CURVA N.	PROGRESSIVA INIZIALE PFTE (m)	PROGRESSIVA FINALE PFTE (m)	RAGGIO (m)
12	8589,40	8662,19	250
13	8662,19	8780,90	250
14	8780,90	8817,82	400
15	8817,82	9041,83	400
16	9041,83	9192,19	500
17	9192,19	9313,49	500
18	9313,49	9447,96	800
19	9447,96	9999,13	800
20	9999,13	10323,65	250
21	10323,65	10775,33	250
22	10775,33	11111,74	250
23	11111,74	11583,07	250
24	11583,07	11601,40	2000
25	11601,40	11733,09	2000
26	11733,09	11751,42	2000
27	11751,42	12118,58	2000
28	12118,58	12156,71	1000
29	12156,71	12201,74	1000
30	12201,74	12246,91	1000
31	12246,91	12376,96	1000
32	12376,96	12402,48	400
33	12402,48	12456,48	400
34	12456,48	12826,23	202



CURVA N.	PROGRESSIVA INIZIALE PFTE (m)	PROGRESSIVA FINALE PFTE (m)	RAGGIO (m)
35	12826,23	14571,55	202
36	14571,55	14823,19	200

**Limitazioni della velocità lungo il tracciato tra Politecnico e Rebaudengo**

Tabella 5.

CURVA N.	PROGRESSIVA INIZIALE (m)	PROGRESSIVA FINALE (m)	VELOCITÀ (km/h)
1	6,210	6,881	75
2	6,881	12,330	80
3	12,330	12,372	80
4	12,372	12,856	60
5	12,856	14,540	80
6	14,540	14,861	60
7	14,861	14,955	80
8	14,955	15,465	30



### 3.2 PRESTAZIONI DELLA LINEA - PFTE

Per determinare le prestazioni, le caratteristiche e i costi di esercizio della linea devono essere considerati i seguenti elementi:

- tempo di corsa (tempo impiegato dal treno per andare da un capolinea ad un altro);
- frequenza della linea (intervallo tra due treni);
- flotta (numero totale di treni richiesti per l'esercizio).

Queste stime saranno in accordo alle ipotesi riportate al paragrafo precedente.

#### 3.2.1 Tempi di sosta

Sulla base di quanto previsto in PFTE, dato anche il numero inferiore di passeggeri previsto per le singole stazioni, si è scelto di uniformare i tempi di sosta di tutte le stazioni a 20 s, per entrambi i binari.

#### 3.2.2 Tempi di marcia e velocità commerciale

Il tempo di marcia è stato calcolato come spiegato al par. 4.6, in base alle curve planimetriche, alle pendenze ed alla posizione delle stazioni, non includendo però il tempo di sosta.

Tabella 6. **Tempo di marcia da Politecnico a Rebaudengo - Binario 1**

STAZIONE	TEMPO DI SOSTA (s)	INTERASSE STAZIONI (km)	TEMPO DI MARCIA (s)	TOLL. (5s/km)	TEMPO TOTALE DI MARCIA (s)
POLITECNICO	20	0,900	64	4	69
PASTRENGO	20	0,911	64	5	68
PORTA NUOVA	20	0,959	66	5	71
CARLO ALBERTO	20	0,596	50	3	53
MOLE/GIARDINI REALI	20	0,996	67	5	72
VERONA	20	0,691	54	3	57
NOVARA	20	0,657	53	3	56
BOLOGNA	20	0,457	44	2	46
CIMAROSA/TABACCHI	20	0,731	61	4	65
CORELLI	20	0,580	49	3	52
SAN GIOVANNI BOSCO	20	0,448	43	2	45
GIULIO CESARE	20	0,815	63	4	67



REBAUDENGO	20	/	/	/	/
<b>TOTALI</b>	<b>260</b>	<b>0,774</b>	<b>678</b>	<b>43</b>	<b>721</b>

**Tempo di marcia da Rebaudengo a Politecnico - Binario 2**

STAZIONE	TEMPO DI SOSTA (s)	INTERASSE STAZIONI (km)	TEMPO DI MARCIA (s)	TOLL. (5s/km)	TEMPO TOTALE DI MARCIA (s)
REBAUDENGO	20	0,815	63	4	67
GIULIO CESARE	20	0,448	42	2	44
SAN GIOVANNI BOSCO	20	0,580	48	3	51
CORELLI	20	0,731	61	3	64
CIMAROSA/TABACCHI	20	0,457	44	2	46
BOLOGNA	20	0,657	51	3	54
NOVARA	20	0,691	55	3	58
VERONA	20	0,996	65	5	70
MOLE/GIARDINI REALI	20	0,592	52	3	55
CARLO ALBERTO	20	0,959	64	5	69
PORTA NUOVA	20	0,911	64	4	68
PASTRENGO	20	0,900	64	4	68
POLITECNICO	20	/	/	/	/
<b>TOTALI</b>	<b>260</b>		<b>673</b>	<b>41</b>	<b>714</b>

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione generale di studio dell'esercizio	02_MTL2T1A0DESEGENR001-0-2

I tempi di sosta (ad eccezione dei capilinea) vengono sommati per ottenere il tempo di corsa e le velocità commerciali in entrambe le direzioni di marcia.

### Tempi e velocità commerciali (Politecnico – Rebaudengo)

		POLITECNICO – REBAUDENGO	REBAUDENGO – POLITECNICO
Tabella	Tempo di corsa commerciale	00:15:41	00:15:34
	Velocità commerciale (km/h)	33,44	33,67

### 3.3 Tempo giro e flotta tratta Rebaudengo – Politecnico PFTE

Il tempo giro teorico è:

Tabella 9.

#### Tempo giro (POL – REB)

	TEMPO (s)
Politecnico - Rebaudengo	00:13:42
Rebaudengo – Politecnico	00:13:42
Capolinea Politecnico	00:01:18
Capolinea Rebaudengo	00:01:18
<b>TEMPO GIRO</b>	<b>00:30:00</b>

Dato che:

- La domanda (3.850 pax/h/dir) non è dimensionante;
- Possono essere parcheggiati (a fine servizio) 14 treni, di cui 9 al deposito Rebaudengo (7 stalli in parcheggio, 1 in area lavaggio e 2 in area officina) e 4 nel retro capolinea Politecnico;
- il ciclo di manutenzione lungo parte da 600.000 km

e date le seguenti considerazioni:

#### CONSIDERAZIONI LEGATE ALLA MANUTENZIONE

- L'area officina è in grado di soddisfare i cicli corti di manutenzione;

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione generale di studio dell'esercizio	02_MTL2T1A0DESEGENR001-0-2

- Bisogna cercare di limitare il chilometraggio annuale dei singoli treni per spostare più in avanti i cicli lunghi di manutenzione;

### STRATEGIA ACQUISTO ROTABILI ROTABILI

- Conviene approvvigionare il maggior n. di rotabili (14) per ridurre il chilometraggio annuale;
- limitando il chilometraggio annuale del singolo treno a 80.000 km/anno si può ipotizzare di avere i cicli lunghi di manutenzione dopo **7,5 anni** (tempo limite di attesa del comprensorio tecnico definitivo)

la flotta ipotizzata è di 12 rotabili in linea, con un intervallo minimo di esercizio dell'ordine di **137"** (con tempo di giro 1.642") e con una corrispondente capacità di circa 10.500 pax/h/dir

Tabella 10.

#### Flotta totale dei rotabili tratta Rebaudengo - Politecnico

FLOTTA	
Rotabili necessari per espletare l'esercizio	12
Rotabili di riserva per l'esercizio	1
Rotabili di riserva per la manutenzione (10%)	1
<b>FLOTTA TOTALE</b>	<b>14</b>



## 4. SEZIONE 2 – CARATTERISTICHE PROGETTO DEFINITIVO

### 4.1 Progressive del tracciato della linea

Le progressive elencate nel seguito fanno riferimento a quelle stabilite nel Progetto Definitivo, coerenti con un unico 0 posto in mezzeria alla stazione Anselmetti.

#### 4.1.1 Progressive delle stazioni

La seguente tabella fornisce le progressive delle stazioni con riferimento al punto medio della banchina. Le banchine avranno una lunghezza di 60 m e i punti di fermata del treno saranno alle estremità di esse.

Progressive delle stazioni da Politecnico a Rebaudengo

Tal	STAZIONE N.	NOME STAZIONE	PROGRESSIVA (km)
	1	POLITECNICO	6.168,25
	2	PASTRENGO	7.067,24
	3	PORTA NUOVA	7.978,42
	4	CARLO ALBERTO	8.936,77
	5	MOLE/GIARDINI REALI	9.528,72
	6	VERONA	10.524,24
	7	NOVARA	11.249,76
	8	BOLOGNA	11.885,99
	9	CIMAROSA/TABACCHI	12.326,96/ 12.342,76
	10	CORELLI	13.073,80
	11	SAN GIOVANNI BOSCO	13.653,91
	12	GIULIO CESARE	14.102,25
	13	REBAUDENGO	14.916,75

**4.1.2 Profilo altimetrico**

La seguente tabella riassume le progressive delle livellette del profilo altimetrico come da Progetto Definitivo, rif. Tracciato Dati asse vie e punti caratteristici Elaborato 28\_MTL2T1A0DTRCG00R001-0-2

**Progressive delle pendenze da Politecnico a Rebaudengo**

N. Vert.	PROGRESSIVA (m)	QUOTA (m)	PENDENZA (‰)
V34	5744,350	218,150	0,000
V35	5815,110	219,800	23,318
V36	5931,600	219,800	0,000
V37	6105,510	220,650	4,888
V38	6257,720	220,650	0,000
V39	6635,990	213,050	-20,091
V40	6744,510	211,960	-10,044
V41	6816,005	211,538	-5,907
V42	6923,009	212,180	6,000
V43	7007,430	215,050	34,000
V44	7160,830	215,050	0,000
V45	7409,240	205,114	-40,000
V46	7935,860	208,800	7,000
V47	8078,880	208,800	0,000
V48	8207,730	207,000	-13,970
V49	8289,700	205,030	-24,033
V50	8443,610	198,874	-40,000
V51	8626,080	202,160	18,011
V52	8880,860	209,800	29,987



N. Vert.	PROGRESSIVA (m)	QUOTA (m)	PENDENZA (‰)
V53	8990,290	209,800	0,000
V54	9143,662	207,806	-13,000
V55	9421,690	200,300	-26,998
V56	9596,300	200,300	0,000
V57	9897,185	190,672	-32,000
V58	10084,191	189,550	-6,000
V59	10452,950	204,300	40,000
V60	10580,730	204,300	0,000
V61	10643,180	202,680	-25,941
V62	10946,560	190,560	-39,950
V63	11109,130	197,063	40,000
V64	11191,320	199,550	30,262
V65	11290,850	199,550	0,000
V66	11487,329	200,730	6,006
V67	11662,442	206,859	35,000
V68	11846,540	208,700	10,000
V69	11937,680	208,700	0,000
V70	12027,000	210,620	21,500
V71	12287,940	207,750	-11,000
V72	12382,320	207,750	0,000
V73	12497,695	208,673	8,000
V74	12764,820	215,084	24,000
V75	13036,220	217,800	10,007
V76	13181,830	217,800	0,000



N. Vert.	PROGRESSIVA (m)	QUOTA (m)	PENDENZA (‰)
V77	13594,330	221,100	8,000
V78	13720,670	221,100	0,000
V79	14045,670	223,700	8,000
V80	14172,551	223,700	0,000
V81	14541,101	222,077	-4,404
V82	14716,781	221,550	-3,000
V83	14967,148	221,550	0,000
V84	15097,320	222,202	5,007
V85	15227,651	221,550	-5,001
V86	15614,560	221,550	0,000



#### 4.1.3 Progressive delle curve e limitazioni della velocità

La massima velocità nelle curve deve essere calcolata in relazione al loro raggio di curvatura. Di seguito sono riportate le curve del tracciato come da Progetto Definitivo rif.: Tracciato Dati asse vie e punti caratteristici - Elaborato 28\_MTL2T1A0DTRCG00R001-0-2 - Cap. 4. È inoltre importante evidenziare che il treno non può iniziare ad accelerare finché la sua coda non abbia lasciato il tratto a velocità limitata.

Il alcuni tratti di tracciato quindi, per soddisfare le esigenze di inserimento urbanistico dell'infrastruttura metropolitana, è stato necessario ridurre il raggio di curvatura planimetrico fino a 200m e conseguentemente la velocità di progetto è stata assunta pari a 60km/h; in questi tratti, il tracciato si sviluppa in galleria artificiale realizzata con il metodo cut&cover.

Raggi di curvatura del tracciato da Politecnico a Rebaudengo

Tabella	CURVA/ARCO Nr.	PROGRESSIVA INIZIALE (m)	PROGRESSIVA FINALE (m)	RAGGIO (m)
	1-Curva V12	6202,38	6742,70	250
	2-Curva V13	6744,81	6884,96	250
	3-Curva V14	7261,42	7784,85	300
	4-Curva V15	8019,81	8137,31	350
	5-Curva V16	8146,28	8269,22	350
	6-Curva V17	8526,72	8722,51	250
	7-Curva V18	8741,66	8854,58	400
	8-Curva V19	9009,58	9235,48	500
	9-Curva V20	9288,40	9429,84	500
	10-Curva V21	9936,10	10384,62	250
	11-Curva V22	10599,63	10688,98	600
	12-Curva V23	10693,08	11171,72	250
	13-Curva V24	11295,85	11341,62	2000
	14-Curva V25	11357,62	11403,38	2000
	15-Curva V26	12114,47	12185,60	1000
	16-Curva V27	12197,63	12275,79	1000



CURVA/ARCO Nr.	PROGRESSIVA INIZIALE (m)	PROGRESSIVA FINALE (m)	RAGGIO (m)
17-Curva V28	12387,34	12416,87	400
18-Curva V29	12436,79	12870,79	202
19-Curva V30	14549,20	14586,20	200

## Limitazioni della velocità lungo il tracciato tra Politecnico e Rebaudengo

Tabella 14.

CURVA N.	PROGRESSIVA INIZIALE (m)	PROGRESSIVA FINALE (m)	VELOCITÀ (km/h)
1	6202,38	6742,70	75
2	6744,81	6884,96	75
3	10599,63	10688,98	70
4	10693,08	11171,72	70
5	12436,79	12870,79	60
6	14549,20	14586,20	60

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione generale di studio dell'esercizio	02_MTL2T1A0DESEGENR001-0-2

#### 4.1.4 Inversione ai capilinea

##### 4.1.4.1 Criteri generali

Le stazioni terminali sono strategiche per il funzionamento della linea e rappresentano, solitamente, un vincolo per la verifica dell'intervallo minimo tra i treni sulla linea. Tali stazioni terminali sono generalmente costituite da zone di movimento che consentono:

- o l'inversione dei treni da un binario all'altro, che può essere statica (a livello di banchina) o dinamica (sul retro della stazione);
- o inserimento e ritiro dei treni dalla linea;
- o cambio di treni guasti;
- o accesso al deposito.

La flessibilità dell'esercizio dipende dalla posizione delle comunicazioni tra i binari prima o dopo l'ingresso al capolinea. Le due configurazioni non offrono prestazioni simili. Con frequenze alte lo scambio prima di entrare in stazione terminale è meno vantaggioso, poiché, in caso di ritardo del treno, può influire sul tempo di marcia dei successivi sia in partenza che in arrivo, provocando così ritardi nella partenza e passeggeri fermi nel treno. Tuttavia lo scambio prima di entrare in stazione è utile in caso di un treno che deve recuperare un ritardo.

La configurazione di capolinea con una posizione di manovra tra la banchina e la comunicazione tra i binari in retro-stazione aumenta la capacità del capolinea stesso in caso di forte ritardo del treno e consente flessibilità nell'esercizio dei treni durante le ore di punta. Quindi questa opzione deve essere privilegiata in tutti i terminali ad eccezione di quelli con vincoli restrittivi dovuti alle opere civili.

In ogni caso la capacità del capolinea dipende molto dalla distanza tra il punto di fermata in stazione e la zona di scambio.

Si raccomanda di mantenere, tra il punto di sosta del treno e l'inizio dello scambio per l'inversione dei treni da un binario all'altro, una distanza di 30 m, che verrà utilizzata per inserire il sistema di segnalamento.

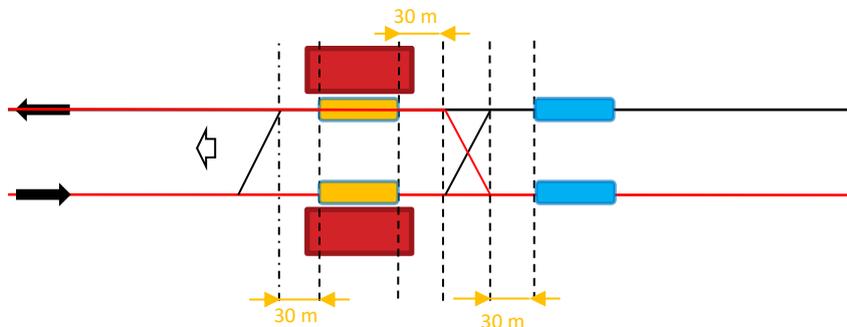
E' stato introdotto un opportuno modello dinamico descrivente il carosello dei treni in modo da tenere conto del movimento e delle manovre ai capolinea. Le basse velocità lungo le tratte di inversione, sono vincolanti nel calcolo del tempo complessivo di giro e, di conseguenza, nella determinazione degli intervalli di esercizio, come si mostrerà nei prossimi paragrafi dedicati.

##### 4.1.4.2 Capolinea Rebaudengo

L'inizio dello scambio del capolinea di Rebaudengo è a 30 m dalla posizione di fermata del treno e la fine dello scambio è a 30 m dal punto di sosta per l'inversione del treno.



Capolinea Rebaudengo (Y)



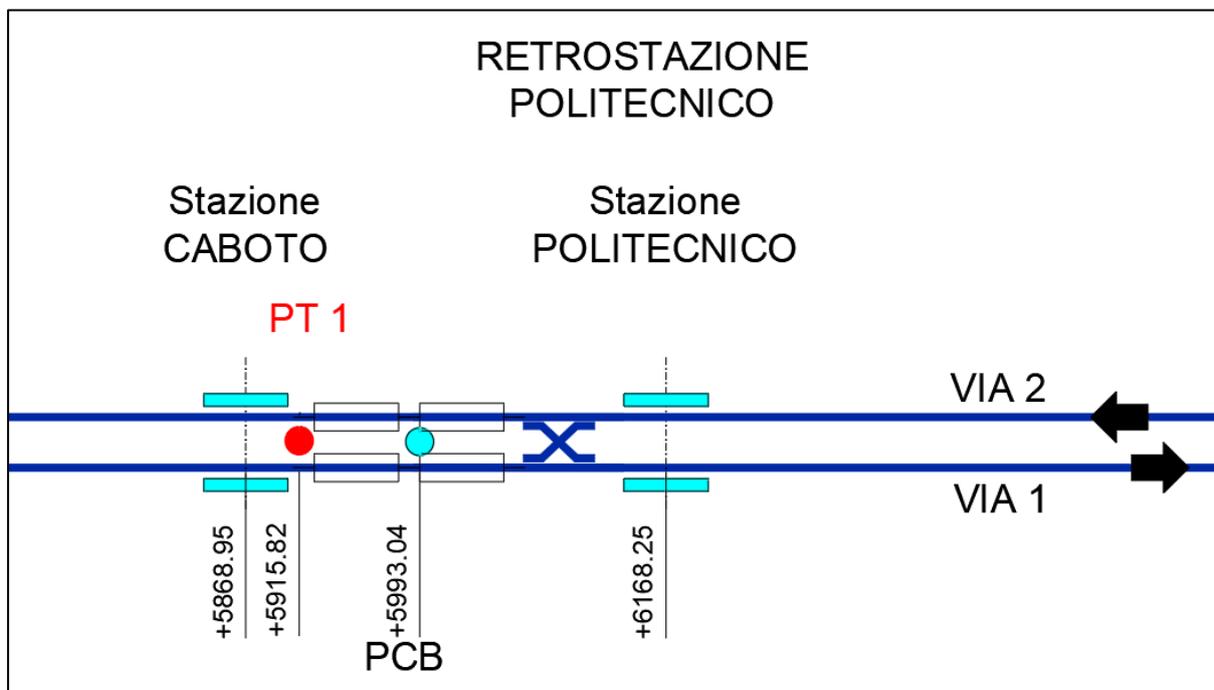
4.1.4.3 Capolinea Politecnico

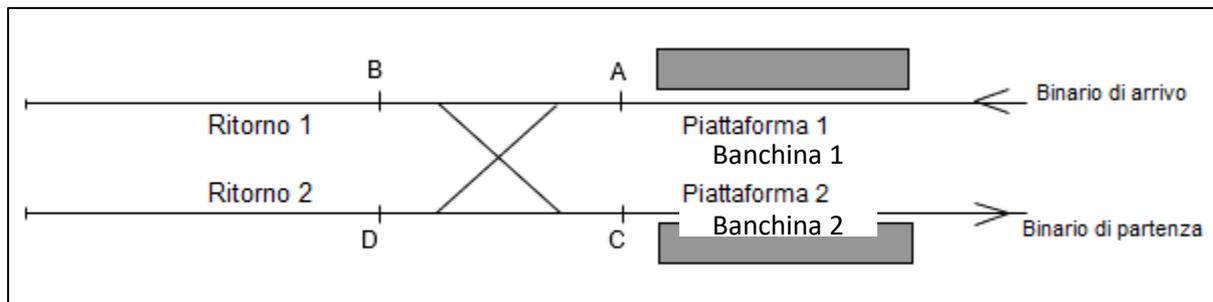
Figura 2. Lunghezze per l'inversione del treno a Rebaudengo

Al fine di rendere funzionale la Tratta Rebaudengo – Politecnico, è stato necessario introdurre un capolinea in retrostazione Politecnico; lungo il tronchino di circa 230 m è prevista una doppia comunicazione e lo stallo di:

- 4 rotabili, a fine esercizio giornaliero
- 3 rotabili durante l'esercizio giornaliero

secondo lo schema riportato in figura.





PUNTI CARATTERISTICI	DETTAGLI
A	Occupazione dello scambio sul binario 1
B	Partenza dal retro-stazione 1 e occupazione dello scambio
C	Liberazione dello scambio
D	Partenza dal retro-stazione 2 e occupazione dello scambio

Tabella 15.

Punti caratteristici dello scambio

#### 4.1.5 Comunicazioni per servizi parziali temporanei

Anche lungo l'intero tracciato, allo scopo di permettere l'inversione dei treni nel caso di ostruzione della linea, sono disposte comunicazioni per consentire l'inversione di binario da parte dei treni. Il blocco del servizio può essere dovuto al guasto di un treno o del sistema (incendio, problemi di potenza, ecc.). In queste situazioni, quindi, è spesso necessario interrompere le corse dei treni in punti intermedi, così da mantenere un servizio parziale.

Solitamente queste comunicazioni sono collocate presso stazioni di corrispondenze con altre linee metro o altri sistemi di trasporto, o comunque molto frequentate. In ogni caso le comunicazioni intermedie dovrebbero suddividere la linea in tratte più o meno equivalenti, approssimativamente ogni 4 o 5 stazioni.

Lungo la tratta, tali comunicazioni sono presenti in corrispondenza delle stazioni Porta Nuova, Mole Giardini Reali, Bologna (necessaria al fine attivare il servizio lungo un primo lotto Rebaudengo – Bologna) e Rebaudengo.



### 4.2 Dati sul numero di passeggeri lungo la tratta Rebaudengo - Politecnico

L'offerta di trasporto è basata su un numero massimo di passeggeri per ora per direzione (PPHPD), che deve essere garantito nell'ora di punta con il treno completamente occupato. Questo valore è determinato dal numero di passeggeri saliti e discesi derivanti dagli studi di traffico e mostrati dai seguenti grafici. Le analisi sono state fatte proiettandole negli anni per i quali la linea 2 sarà disponibile e considerando i dati di traffico a consuntivo ricavati dalla esperienza tutt'ora in corso sulla Linea1 . Le tratte in esame includono 2 università (Politecnico e Campus Einaudi), un ospedale (San Giovanni Bosco) e alcuni ospedali minori limitrofi (Gradenigo). Si basano su criteri statistici avanzati e in futuro potranno essere aggiornati anche utilizzando le nuove tecniche di Intelligenza Artificiale . La capacità del sistema può essere modulata e ottimizzata tenendo conto dei periodi di punta e di morbida introducendo in modo dinamico il numero giusto di rotabili, come illustrato nel seguito.

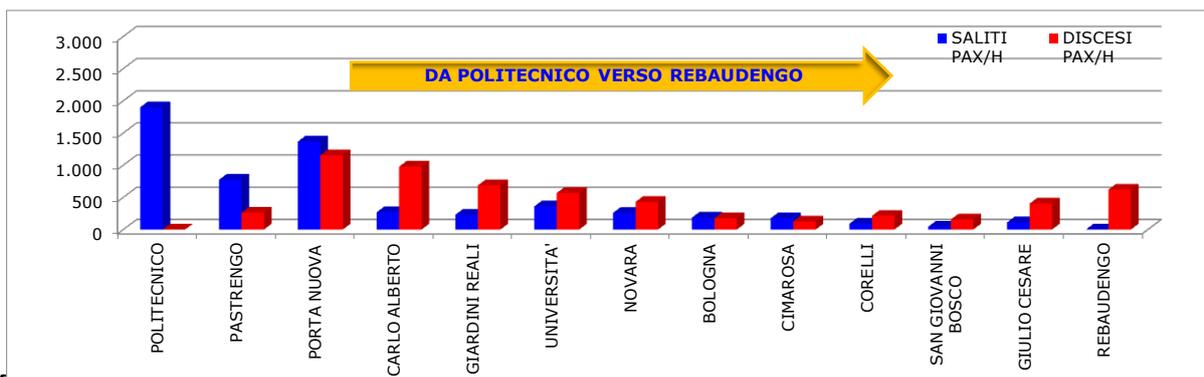


Fig. [Fonte: elaborazioni consulenti]

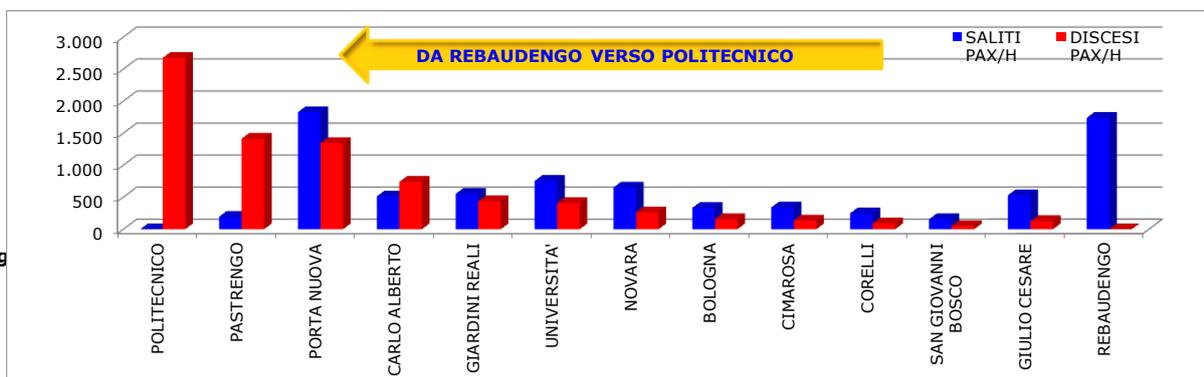


Fig.

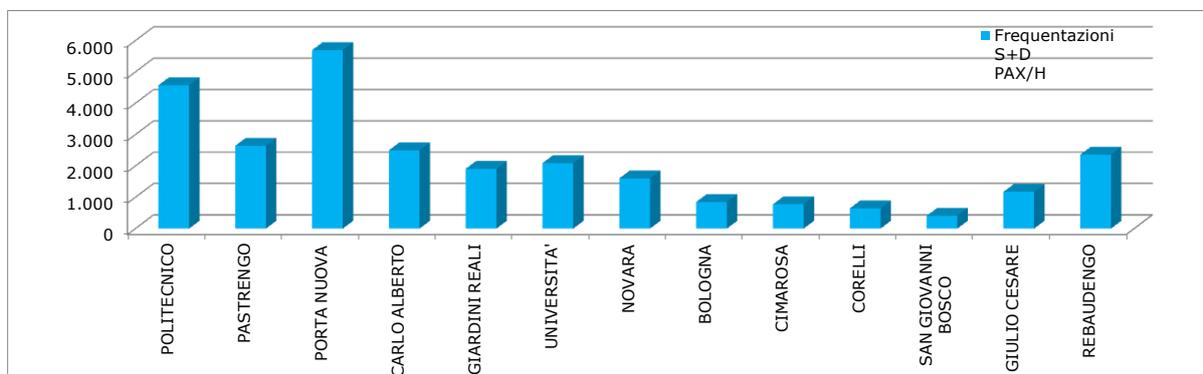


Figura 6. Pax saliti e discesi per stazione, anno 2030, bidirezionale, pax/h  
[Fonte: elaborazioni consulenti]

ID	STAZIONE	ANNO 2030						
		Da Politecnico vs. Rebaudengo		Da Rebaudengo vs. Politecnico		TOTALE		
		SALITI PAX/H	DISCESI PAX/H	SALITI PAX/H	DISCESI PAX/H	SALITI PAX/H	DISCESI PAX/H	Frequenzazioni S+D PAX/H
11	POLITECNICO	1.899	0	0	2.676	1.899	2.676	4.575
12	PASTRENGO	773	261	195	1.414	968	1.675	2.643
13	PORTA NUOVA	1.366	1.153	1.829	1.346	3.195	2.499	5.694
14	CARLO ALBERTO	268	978	513	741	781	1.718	2.499
15	GIARDINI REALI	230	686	553	438	784	1.124	1.907
16	UNIVERSITA'	359	568	755	408	1.114	976	2.090
17	NOVARA	259	429	651	264	910	693	1.603
18	BOLOGNA	185	173	334	156	519	329	848
19	CIMAROSA	176	124	341	136	517	260	777
20	CORELLI	90	212	249	93	339	305	645
21	SAN GIOVANNI BOSCO	45	155	156	49	201	205	406
22	GIULIO CESARE	111	403	531	127	642	530	1.172
23	REBAUDENGO	0	619	1.740	0	1.740	619	2.359
TOTALE		5.762	5.762	7.847	7.847	13.609	13.609	27.218

Pax saliti e discesi, anno 2030, bidirezionale, pax/h

Il carico massimo riscontrato sulla linea, dimensionante per la progettazione definitiva della tratta, è di circa **3850 PPHD** nell'ora di punta del mattino. Nei prossimi paragrafi vengono

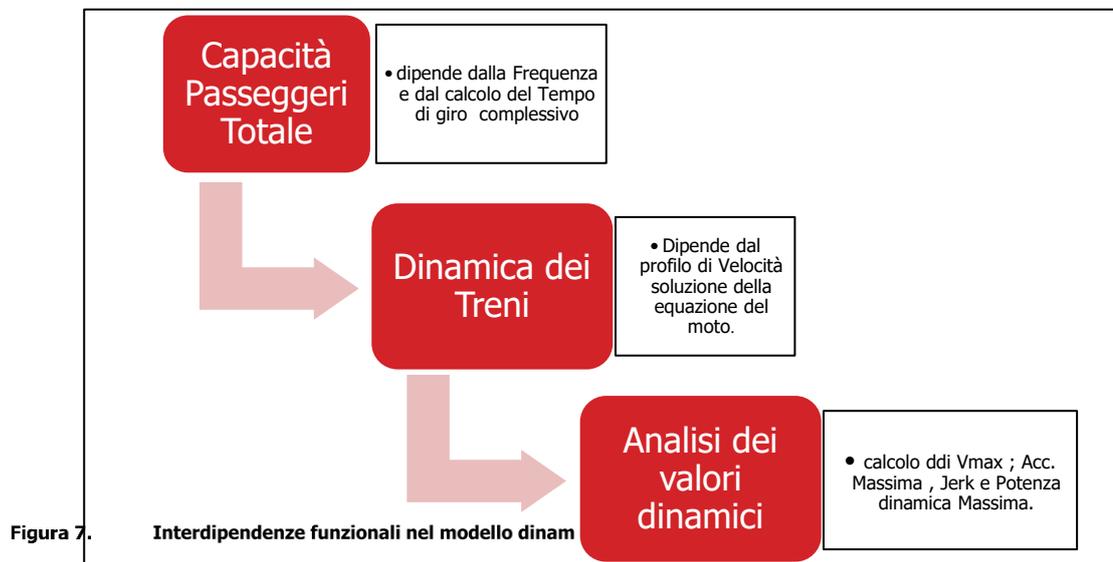


illustrate alcune tabelle e grafici che mettono in evidenza i dati di capacità oraria in funzione dei parametri dinamici più importanti e dei tempi di esercizio del rotabile, utili ai fini di un opportuno predimensionamento del sistema.

### 4.3 Dimensionamento preliminare e impatti sul flusso passeggeri

Il dimensionamento del sistema dal punto di vista del carosello completo dei treni nella tratta Politecnico / Rebaudengo e ritorno, è stato calcolato in modo rigoroso attraverso i modelli che sono descritti nei prossimi paragrafi. Restano validi tutti i risultati ottenuti nei documenti del PFTE con gli aggiornamenti delle tabelle relative alla tratta in oggetto ma, includendo anche i tronchini di inversione secondo quanto descritto nel precedente paragrafo.

Invece lo scopo del paragrafo corrente, è quello di descrivere con maggiore dettaglio le interdipendenze funzionali tra i parametri e tra gli elementi del modello dinamico.



I calcoli preliminari di capacità e di frequenza sono anche funzione dei parametri di marcia e di sosta dei treni e anche dei tempi delle 2 inversioni ai tronchini.

I requisiti commerciali richiedono di fissare un range accettabile di capacità totale del sistema nei diversi regimi di esercizio in termini di:

❖ **PPHPD** = Numero di passeggeri trasportati ogni ora in entrambe le direzioni, il requisito dipende dal numero di treni disponibili configurati in maniera opportuna e tali da soddisfare a loro volta i requisiti di:

- **F = Frequenza** = Numero di passaggi ora =  $\frac{3600}{T_{giro} [sec]}$
- **Tgiro** = Tempo per effettuare un giro completo con inversioni al tronchino incluse.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione generale di studio dell'esercizio	02_MTL2T1A0DESEGENR001-0-2

L'analisi rigorosa della dinamica del carosello treni deve essere studiata attraverso la soluzione delle equazioni della dinamica semplificate dalla introduzione di modelli matematici opportuni. Descrivendo in dettaglio i parametri fondamentali associati.

#### 4.3.1.1 *Dettagli sul Tempo di Giro*

Il calcolo del tempo necessario a percorrere un giro completo include:

- ❖ la somma di tutti i tempi di marcia tra una stazione e l'altra;
- ❖ la somma dei tempi di sosta in ogni stazione inclusi tutti i tempi tecnici e di setup;
- ❖ i tempi per invertire la direzione in ognuno dei 2 capolinea (come si è descritto nei paragrafi precedenti).

Il tempo di un giro è la durata complessiva necessaria a un treno per partire da un punto iniziale di riferimento compiere un intero giro andata/ritorno per poi tornare allo stesso punto.

Per ragioni pratiche si considera la partenza dalla banchina di uno dei 2 capo linea e si torna nella stessa banchina dopo avere fatto la inversione. Quindi il tempo di giro vale:

$$T_g = 2 * [ (n) * T_m + n * T_s + T_i ]$$

Dove sono state introdotte le grandezze seguenti :

- $T_m$  = tempo di marcia medio (in secondi) di percorrenza tra una stazione e la successiva =  $\frac{\sum_{i=1}^n T_m[i]}{n+1}$ ;
- $n$  = numero di stazioni o fermate;
- $T_s$  = Tempo di sosta medio per stazione (potrebbe essere diverso per ogni stazione);
- $T_{i1} + T_{i2}$  = tempo totale di inversione ( è diverso per i 2 tronchini Rebaudengo e Politecnico ma usiamo valori medi).

Il tracciato della linea 2 con le corrette distanze tra gli assi di stazione, contempla un tempo di percorrenza  $T_m[i]$  diverso stazione per stazione, per cui il tempo medio di marcia  $T_m = \frac{\sum_{i=1}^n T_m[i]}{n+1}$  diventa, in realtà per essere maggiormente precisi, una sommatoria sui tempi divisa per il numero di tratte in esame. Il calcolo del tempo di marcia è mostrato nel prossimo paragrafo sulla trazione. Il tempo di sosta è stato fissato nel PFTE in 20 secondi, il calcolo è rigoroso considerando uno split in termini di una formula specifica, si riporta per completezza:

$$T_s = \left( \frac{(Boarding + Alighting) \times \frac{Headway}{3600}}{Nb\ doors \times Nb\ lanes \times \frac{Flow\ Rate}{60}} \right) + Technical\ times$$

In questa fase si considerano fissi i tempi di sosta utilizzando

$$T_s = 20\ secondi$$

#### 4.3.1.2 *Dimensionamento della Flotta e dell'Headway*

La flotta dei treni necessaria a garantire il servizio commerciale, le tabelle orarie e il numero di passeggeri è oggetto di questo paragrafo. Nei paragrafi precedenti sono state mostrate

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione generale di studio dell'esercizio	02_MTL2T1A0DESEGENR001-0-2

alcune grandezze fisiche legate alla movimentazione dei treni lungo il tracciato con lo scopo di introdurre la formulazione più idonea per il calcolo del numero dei treni necessari a soddisfare le esigenze di servizio. Vengono mostrati per semplicità e completezza alcuni grafici che mostrano i principi progettuali in oggetto. Tra i parametri da tenere in conto abbiamo quindi:

**N** : numero treni dedicati alla tratta in esame considerando 2 Treni in aggiunta, come margine per emergenze e collaudi.

$$\text{Headway ovvero Timm} = \text{Tempo immissione tra treni consecutivi} = \frac{T_g \text{ [sec]}}{N}$$

Il calcolo della flotta minima N è un predimensionamento valido per la sola tratta in esame e dipende da numerosi parametri che si devono stimare e poi aggiornare dopo lo studio approfondito della trazione e gli impatti sull'alimentazione elettrica. La flotta viene acquistata in più tranches legate alla effettiva dimensione progressiva delle tratte e del sistema di alimentazione elettrica in BT/MT . VSi vedano in aggiunta le seguenti formule ausiliarie:

$$\text{Treni Ora Equivalenti} = N * 3600 / T_{giro}$$

$$T_{giro} \text{ [sec]} = [\text{Numero Treni Immessi} * 3600] / \text{Numero Treni Ora}$$

#### 4.3.1.3 Capacità Oraria in funzione dei parametri base dimensionamento della flotta

Si Calcolano in dettaglio i requisiti di capacità di trasporto dei passeggeri, in funzione del tempo di giro teorico e del'Headway, evidenziando le fasce di interesse per la presente tratta in oggetto della Linea 2 della metropolitana di Torino.

Attraverso l'analisi delle curve seguenti vengono definiti i parametri necessari a soddisfare le capacità commerciale richiesta tenendo conto di 2 treni aggiuntivi di margine. Si è fatto riferimento a 2 criteri di capacità del treno: AW2 e AW3, rispettivamente con 300 e 400 passeggeri per treno, esclusivamente per rilevare un parametro rappresentativo. Si specifica a tal proposito che le capacità citate sono oggi commercialmente più elevate, ne consegue che la verifica è stata redatta in termini conservativi. Dall'analisi delle curve sotto riportate è comunque possibile estrapolare i valori di capacità complessiva di trasporto per valori anche differenti.

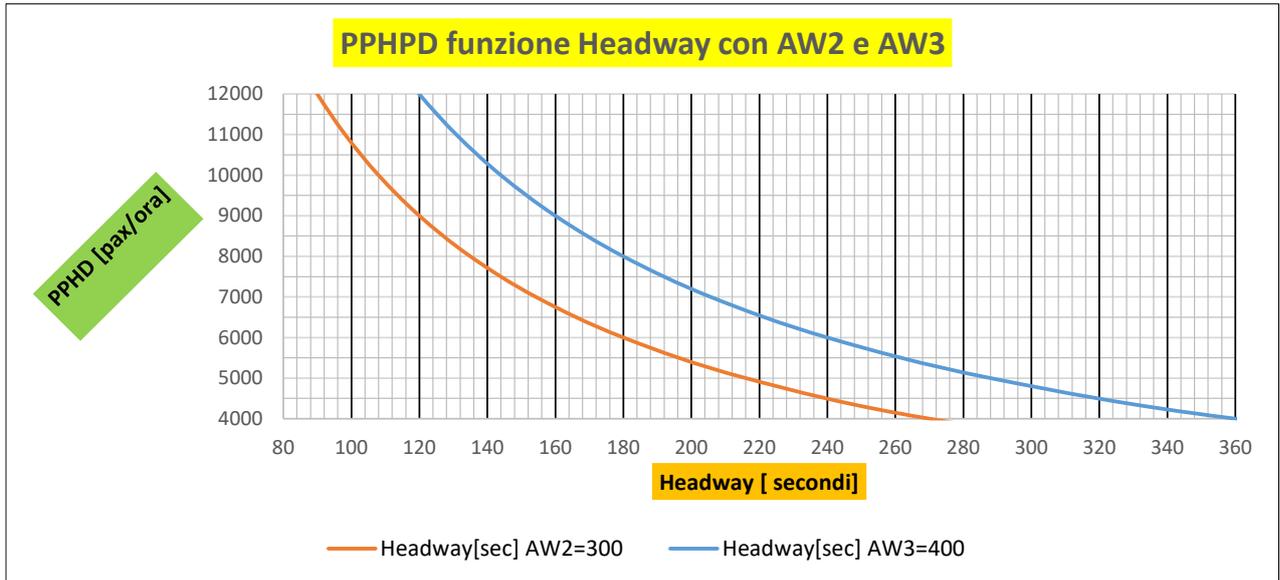


Figura 8. PPHPD in funzione dell'Headway

Per esempio con Headway = 180 secondi; PPHPD=8000 in AW3 ; visibili sul grafico, si hanno le prestazioni indicate , in termini da capacità di trasporto. Attraverso la frequenza ossia il numero di passaggi per ora, è possibile determinare il numero di treni. Si ottengono le seguenti ulteriori curve:



Figura



4.3.1.4 Definizione e Calcolo del tempo complessivo di giri per singolo treno.

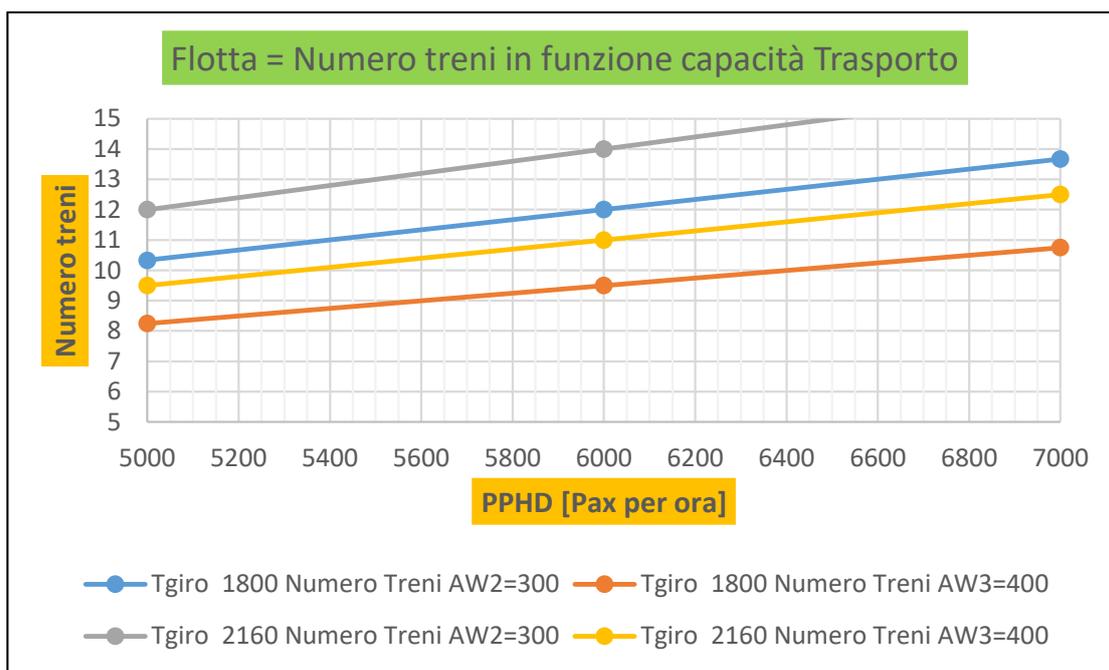
Il tempo di giro dipende dalla dinamica del treno, dal tracciato e dai tempi tecnici inclusa la sosta e le 2 inversioni. Le caratteristiche del tracciato, le curve e i tratti in pendenza possono influenzarne il valore così come i tempi tecnici di fermata e setup del sistema.

Per la tratta in esame Rebaudengo – Politecnico e ritorno tempi di giro completi, inferiori ai 2000 secondi, richiedono velocità massime più elevate e conseguenti potenze dinamiche superiori al Megawatt (MW) e possibili assorbimenti di picco importanti in Media tensione.

Occorre in sede di proposta definire come si intenda analizzare e risolvere le problematiche energetiche legate alle alte capacità orarie eventualmente richieste. La figura precedente mostra il tempo di giro per le 2 categorie di capacità AW2 e AW3 in funzione di 10,11,12 treni.

4.3.1.5 Calcolo ottimale della flotta sulla base dei dati di Trasporto e della frequenza

Attraverso l'analisi della curva seguente viene dato il numero di treni necessari a soddisfare le capacità commerciali richieste tenendo conto di 2 treni aggiuntivi di margine.



Le diverse fasce di tempi di giro utilizzate mettono in evidenza i casi limite oltre i quali non è realistico pensare di effettuare considerazioni. Un trade-off preliminare può essere condotto seguendo alcune indicazioni del grafico. Il costo per ridurre senza necessità il tempo di giro viene pagato come vedremo in un maggiore stress dinamico ossia con maggiori velocità di picco e accelerazioni verso il limite del comfort e quindi con costi energetici non necessari. Un compromesso sull'utilizzo di questi parametri si raggiunge definendo un modello di trazione avanzato.



Di seguito le tabelle con i valori numerici ottenuti applicando le equazioni base di inizio paragrafo.

### Tempi di giro AW2 e AW3 per 10, 11, 12 treni

PPHPD	AW2	AW3	numero treni					
	300	400	10		11		12	
	Headway [sec]	Headway [sec]	Tempo di Giro[sec]	Tempo di giro [sec]	Tempo di Giro[sec]	Tempo di giro [sec]	Tempo di Giro[sec]	Tempo di giro [sec]
	AW2=300	AW3=400	AW2=300 N=10	AW3=400 N=10	AW2=300 N=11	AW3=400 N=11	AW2=300 N=12	AW3=400 N=12
4000	270	360	2700	3600	2970	3960	3240	4320
5000	216	288	2160	2880	2376	3168	2592	3456
6000	180	240	1800	2400	1980	2640	2160	2880
7000	154	206	1543	2057	1697	2263	1851	2469
8000	135	180	1350	1800	1485	1980	1620	2160
9000	120	160	1200	1600	1320	1760	1440	1920
10000	108	144	1080	1440	1188	1584	1296	1728
11000	98	131	982	1309	1080	1440	1178	1571
12000	90	120	900	1200	990	1320	1080	1440

In evidenza di seguito anche la tabella dove si evince il numero di treni necessario sulla base della capacità di trasporto richiesta. Il calcolo è eseguito su due possibili tempi di giro ossia: 1800 secondi, come limite inferiore, e 2160 secondi limite suggerito nel PFTE includendo tronchini e margini per ogni stazione.

Tabella 18.

### Numero treni necessari

PPHPD	Tgiro		Tgiro	
	1800		2160	
	Numero Treni AW2=300	Numero Treni AW3=400	Numero Treni AW2=300	Numero Treni AW3=400
4000	9	7	10	8
5000	10	8	12	10
6000	12	10	14	11
7000	14	11	16	13
8000	15	12	18	14
9000	17	13	20	16
10000	19	15	22	17
11000	20	16	24	19
12000	22	17	26	20

Tutti i risultati presentati sono validi per la tratta ridotta Rebaudengo Politecnico e ritorno con 2 inversioni complete al capolinea.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione generale di studio dell'esercizio	02_MTL2T1A0DESEGENR001-0-2

### 4.3.2 Modelli di Trazione

La presente analisi è fatta preliminarmente con un profilo di velocità a trapezi , dove ho 3 regioni di movimento:

- ❖ la prima ad accelerazione costante;
- ❖ quella centrale a velocità fissa costante;
- ❖ e infine la terza regione a decelerazione costante.

Il modello consente di ricavare molti parametri preliminari ed è un involucro sufficiente per dimensionare i parametri dinamici più importanti.

#### 4.3.2.1 Profilo velocità a tratti costanti – Modello Trapezio

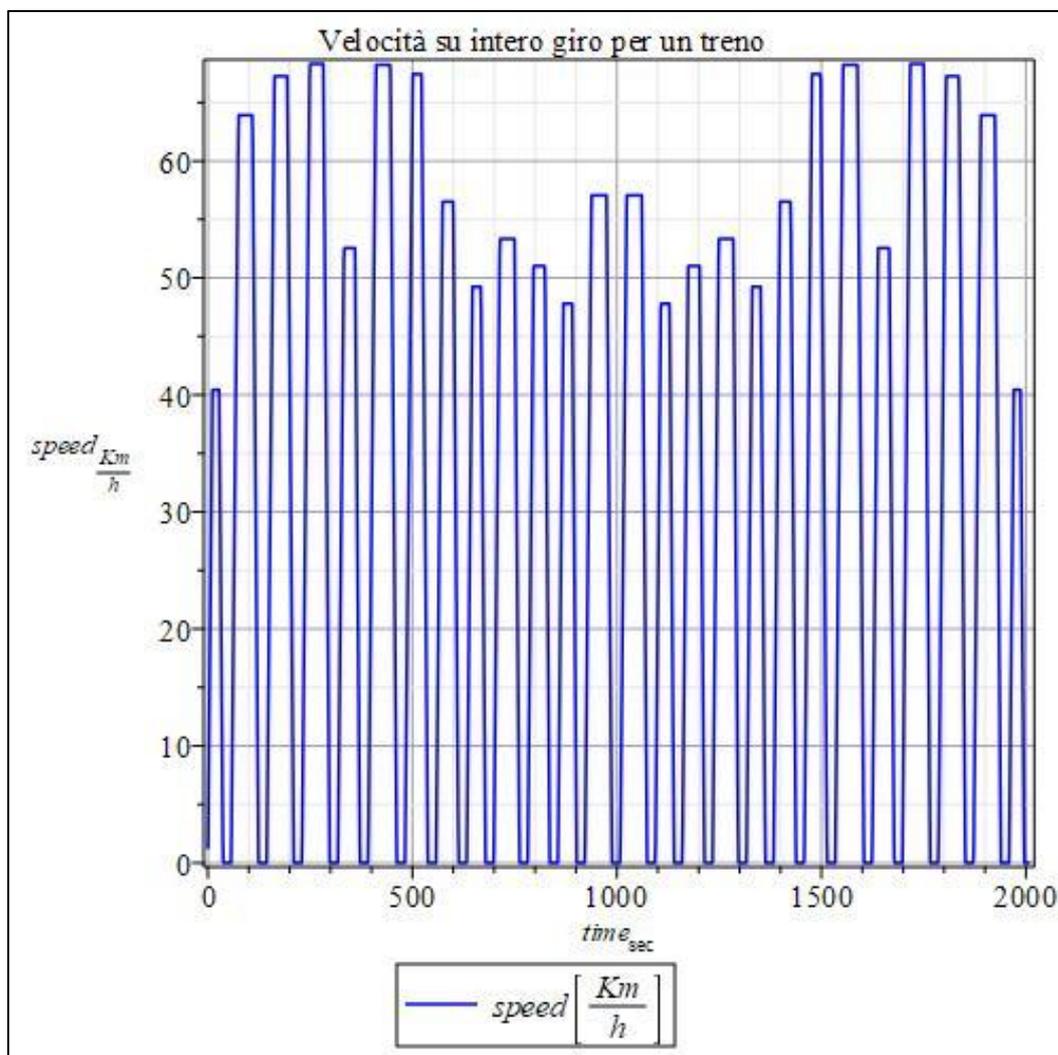
Qualsiasi tra i modelli nel seguito proposti è compatibile con le equazioni rigorose del movimento di corpi rigidi e soddisfa i teoremi più importanti tra i quali la conservazione di Energia. Il movimento di un treno all'interno del tracciato di una Metropolitana è ben diverso di quello di una Ferrovia anche se i principi dinamici e del Rotabile sono molto prossimi. Il servizio richiede che ad ogni stazione del Sistema i passeggeri in attesa possano salire sul treno verso una delle 2 direzioni e che i passeggeri che scendono rientrano nel circuito di trasporto esterno. I tempi in gioco in una metropolitana sono molto inferiori a quelli di un tracciato ferroviario. Abbiamo esigenze dinamiche molto diverse.

Il materiale rotabile segue gli stessi principi ma ha caratteristiche diverse in termini di numero di carrozze , peso e distanze percorse. Il numero di passeggeri ora invece dipende dalla configurazione.

Il treno quindi nel movimento più semplice parte da una stazione, accelera fino a raggiungere una velocità costante (velocità commerciale) fino a poi decelerare e frenare per fermarsi con precisione alla stazione successiva.

Nella più semplice delle soluzioni si ottiene un profilo velocità/spazio percorso che è di tipo Trapezio o multi Trapezio.

Un possibile schema è il seguente dove si dispone del grafico tra velocità in km/h e lo spazio percorso, per il caso in oggetto si ottiene il tempo in secondi e i vari trapezi rappresentano il profilo della velocità che si sussegue ad ogni stazione.



#### 4.3.2.2 Aggiornamento Tabella Tempi con il profilo velocità semplificato

Si entra ora nel dettaglio del calcolo delle prestazioni dinamiche del sistema Treno/Tracciato.

Si riporta la tabella di comparazione dei tempi di giro del progetto PFTE (2160 secondi) e i nuovi tempi (1800 secondi) ricavati con una ottimizzazione sulle velocità massime per la tratta in esame.



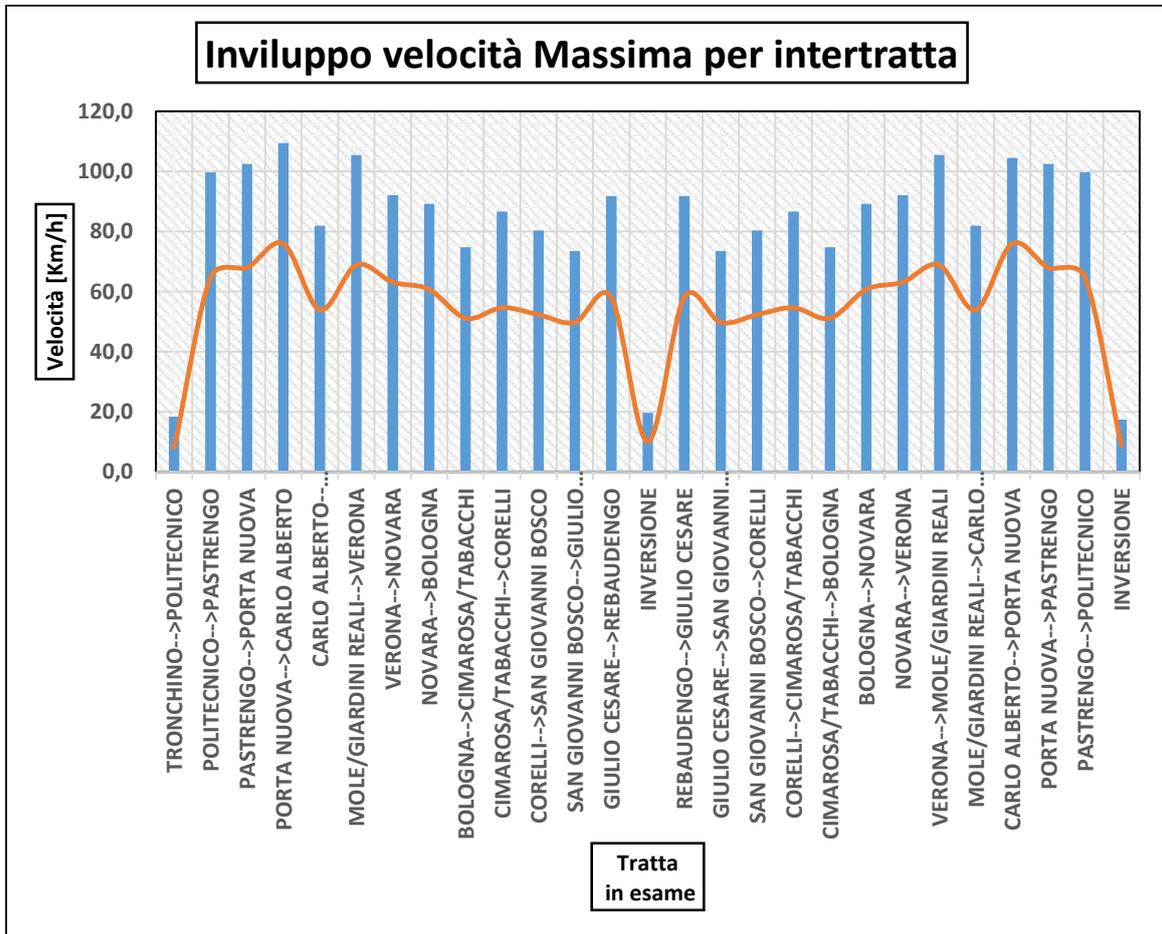
STAZIONE Tratte e Tronchini	TEMPO DI SOSTA [sec]	INTERASSE STAZIONI [Kilometri]	TEMPO DI MARCIA [sec]	TEMPO TOTALE Marcia	velocità massima [Km/ora]	New TEMPO DI MARCIA [s]
				(s)		new-2022
TRONCHINO-->POLITECNICO	0	0,181	90	104	6,4	80
POLITECNICO-->PASTRENGO	20	0,8980	65	71	64,6	55
PASTRENGO-->PORTA NUOVA	20	0,91118	64	70	68,0	59
PORTA NUOVA-->CARLO ALBERTO	20	0,95835	63	73	76,0	61
CARLO ALBERTO-- >MOLE/GIARDINI REALI	20	0,59195	52	57	53,9	45
MOLE/GIARDINI REALI-- >VERONA	20	0,99552	68	74	68,8	63
VERONA-->NOVARA	20	0,72552	54	59	68,5	50
NOVARA-->BOLOGNA	20	0,63623	53	58	57,8	49
BOLOGNA-- >CIMAROSA/TABACCHI	20	0,44097	44	49	48,4	40
CIMAROSA/TABACCHI-- >CORELLI	20	0,73104	61	66	54,4	51
CORELLI-->SAN GIOVANNI BOSCO	20	0,58011	52	56	52,4	44
SAN GIOVANNI BOSCO-- >GIULIO CESARE	20	0,44834	44	48	49,7	39
GIULIO CESARE-->REBAUDENGO	20	0,8145	64	70	58,0	56
INVERSIONE	40	0,23	84	/	10,1	0
REBAUDENGO-->GIULIO CESARE	20	0,8145	64	70	58,0	56
GIULIO CESARE-->SAN GIOVANNI BOSCO	20	0,44834	44	48	49,7	39
SAN GIOVANNI BOSCO-- >CORELLI	20	0,58011	52	56	52,4	44
CORELLI-- >CIMAROSA/TABACCHI	20	0,73104	61	66	54,4	51
CIMAROSA/TABACCHI-- >BOLOGNA	20	0,44097	44	49	48,4	38
BOLOGNA-->NOVARA	20	0,63623	53	58	57,8	49
NOVARA-->VERONA	20	0,72552	54	59	68,5	50
VERONA-->MOLE/GIARDINI REALI	20	0,99552	68	74	68,8	63
MOLE/GIARDINI REALI-- >CARLO ALBERTO	20	0,59195	52	57	53,9	45
CARLO ALBERTO-->PORTA NUOVA	20	0,95835	66	73	76,0	61
PORTA NUOVA-->PASTRENGO	20	0,91118	64	70	68,0	59
PASTRENGO-->POLITECNICO	20	0,898	65	71	64,6	55
INVERSIONE	0	0,181	95	104	7,0	80
<b>Tabella 19. Tempo di Giro</b>	1432		<b>Tempo di un giro</b>		<b>Tempo di un giro new</b>	
Tempo di sola Sosta			1640			1380
Tempo di Inversione	140		520			420
Totale	1612	<b>Tgiro=</b>	2160		<b>Tgiro New=</b>	1800

[FA1]

## Dettagli dinamica di base e tempi



Attenzione ad una eccessiva riduzione dei tempi di marcia, in quanto implica un aumento della velocità massima del treno in ogni tratta. Riportiamo un grafico con le velocità ottenute e l'inviluppo ottimo che invece soddisfa i requisiti di sistema.



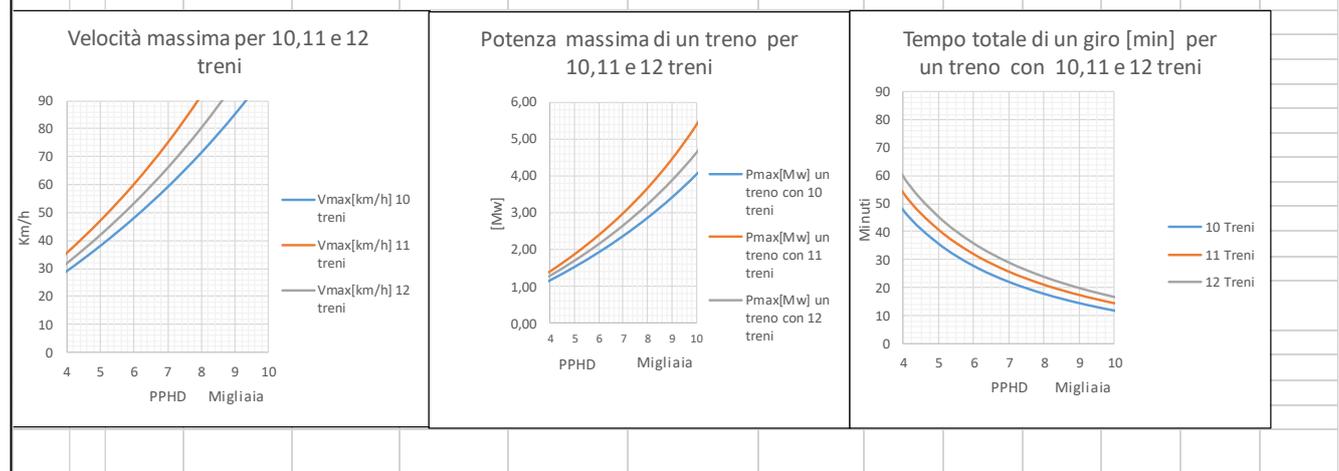
4.3.2.3 Analisi dinamica preliminare : Vmax e Pmax per intertratta in funzione della Capacità.

I tempi di sosta e il tempo di inversione di marcia ai capolinea sono importanti. La frequenza e il numero di treni impiegati influenzano la capacità oraria del sistema. La capacità oraria è quindi data dal numero di treni ora per la classe di passeggeri scelta. La configurazione dei convogli è molto importante, ogni treno è formato dalla composizione di più carrozze e quindi è possibile modulare il numero passeggeri per ora sulla base della domanda oraria che dipende da fattori legati alle abitudini e tipologia dei passeggeri etc. (scuole, lavoro, feste, eventi etc.). La capacità influenza la parte variabile della Massa di ogni treno e quindi la potenza necessaria per ogni treno che è la somma di quella dinamica divisa per la efficienza + la potenza degli ausiliari a bordo treno.

Vedremo in dettaglio lo studio dinamico e la trazione in continua. In questo paragrafo simostrano con stime di base alcuni valori di Vmax e di Pmax in funzione dei dati commerciali.

**Dettagli Vmax e Pmax T giro 36**

Tgiro	PPHD	10	11	12	Pmax[Mw] un treno con 10 treni	Pmax[Mw] un treno con 11 treni	Pmax[Mw] un treno con 12 treni	Tempi di Marcia in minuti			Tempo di GIRO [minuti]		
		Vmax[km/h] 10 treni	Vmax[km/h] 11 treni	Vmax[km/h] 12 treni				10 Treni	11 Treni	12 Treni	10 Treni	11 Treni	12 Treni
36	1.000	6	8	7	0,3	0,3	0,3	228	252	276	240	264	288
	2000	13	16	15	0,5	0,6	0,6	108	120	132	120	132	144
	3.000	21	25	23	0,8	1,0	0,9	68	76	84	80	88	96
	4.000	29	36	32	1,2	1,4	1,3	48	54	60	60	66	72
	5000	38	47	42	1,5	1,9	1,7	36	41	45	48	53	58
	6.000	48	60	54	1,9	2,4	2,1	28	32	36	40	44	48
	7.000	59	75	66	2,4	3,0	2,6	22	26	29	34	38	41
	8000	71	92	80	2,9	3,7	3,2	18	21	24	30	33	36
	9.000	85	112	97	3,4	4,5	3,9	15	17	20	27	29	32
	10.000	101	135	115	4,0	5,4	4,6	12	14	17	24	26	29
	11000	118	162	137	4,7	6,5	5,5	10	12	14	22	24	26
	12.000	138	195	162	5,5	7,8	6,5	8	10	12	20	22	24
	13.000	162	235	192	6,5	9,4	7,6	6	8	10	18	20	22
	14000	189	286	228	7,5	11,4	9,1	5	7	8	17	19	21
15.000	222	351	272	8,8	14,0	10,8	4	5	7	16	18	19	
72	16.000	261	440	327	10,4	17,5	13,1	3	4	6	15	17	18



(Frequenza = 60/36.7 = veicoli minuto = 1.384);



La tabella seguente mostra, invece, la zona di interesse usando  $2043/60=34$  minuti di tempo di giro incluse soste e inversioni e un numero maggiore di treni.

#### Dettagli Vmax e Pmax T giro 34

Tgiro 34	PPHD	Vmax[km/h] 12 treni	Vmax[km/h] 13 treni	Vmax[km/h] 14 treni	Pmax[W] un treno con 12 treni	Pmax[W] un treno con 13 treni	Pmax[W] un treno con 14 treni	Tempo di Giro 12	Tempo di Giro 13	Tempo di Giro 14
	6.000	53	48	44	2.128.117	1.915.305	1.741.187	36	40	44
7.000	66	59	53	2.628.851	2.352.130	2.128.117	29	33	36	

L'ottimizzazione della capacità complessiva dipende dal tempo di giro e quindi dalla velocità massima sostenibile, tale grandezza influenza la Potenza Massima. Riducendo il numero dei treni, cresce il tempo di immissione e quindi è necessario ridurre il tempo di giro per aumentare i giri/h e quindi il numero di passeggeri.

#### Analisi ottimizzata T giro 34 min. - tratta completa

Tgiro 34	PPHD	Vmax[km/h] 12 treni	Vmax[km/h] 13 treni	Vmax[km/h] 14 treni	Pmax[W] un treno con 12 treni	Pmax[W] un treno con 13 treni	Pmax[W] un treno con 14 treni	Tempo di Giro 12	Tempo di Giro 13	Tempo di Giro 14
	1.000	7	6	6	277.581	255.374	236.457	276	300	324
2000	15	13	12	580.396	532.029	491.104	132	144	156	
3.000	23	21	19	912.050	832.742	766.122	84	92	100	
4.000	32	29	27	1.276.870	1.160.791	1.064.059	60	66	72	
5000	42	38	35	1.680.093	1.520.084	1.387.903	46	50	55	
6.000	53	48	44	2.128.117	1.915.305	1.741.187	36	40	44	
7.000	66	59	53	2.628.851	2.352.130	2.128.117	29	33	36	

In questo caso è possibile ridurre la velocità e ottenere potenze massime nel range di accettabilità.

#### Analisi ottimizzata T giro 31 min.- tratta completa

Tgiro 31	PPHD	Vmax[km/h] 12 treni	Vmax[km/h] 13 treni	Vmax[km/h] 14 treni	Pmax[W] un treno con 12 treni	Pmax[W] un treno con 13 treni	Pmax[W] un treno con 14 treni	Tempo di Giro 12	Tempo di Giro 13	Tempo di Giro 14
	1.000	7	6	6	277.581	255.374	236.457	276	300	324
2000	15	13	12	580.396	532.029	491.104	132	144	156	
3.000	23	21	19	912.050	832.742	766.122	84	92	100	
4.000	32	29	27	1.276.870	1.160.791	1.064.059	60	66	72	
5000	42	38	35	1.680.093	1.520.084	1.387.903	46	50	55	
6.000	53	48	44	2.128.117	1.915.305	1.741.187	36	40	44	
7.000	66	59	53	2.628.851	2.352.130	2.128.117	29	33	36	

Tempi complessivi per la percorrenza di un giro che siano al di sotto dei 1900-2000 secondi, rappresentano il limite delle prestazioni con il numero di treni compatibile definito dalle analisi tecnico/economiche. Si possono sopporre ampi margini di riduzione delle potenze al fine di ottenere una capacità complessiva compresa tra i 6-7000 passeggeri ora per direzione. Nella prossima fase di progetto sarà cura dei competitors dare evidenza di uno studio mirato a ottimizzare i suddetti parametri in gioco.



### 4.4 Orari di servizio

La scelta degli orari di servizio e delle frequenze di esercizio ottimali secondo cui il sistema viene effettivamente gestito è molto importante per il successo del servizio di trasporto e per la sua sostenibilità finanziaria. La definizione delle ore di servizio e l'andamento delle frequenze durante la giornata sono state effettuate sulla base di tre giornate tipo: giorni centrali della settimana (da lunedì a venerdì), sabato e festivi, considerando la seguente distribuzione nel corso dell'anno civile:

**Numero di giorni per giornata tipo**

GIORNATE TIPO	NUMERO DI GIORNI
Giorni centrali	247
Sabato	52
Festivi	66

Per ognuno di essi è stato definito:

- o l'inizio dell'esercizio, che corrisponde all'ora di partenza del primo treno dai capilinea;
- o la fine dell'esercizio, che corrisponde all'arrivo dell'ultimo treno ai capilinea.

Tabella 25.

**Orari di apertura e chiusura del servizio**

GIORNATA TIPO	ORA DI APERTURA	ORA DI CHIUSURA
Lunedì -giovedì	05:30	00:30
Venerdì-sabato	05:30	01:30
Domenica e festivi	07:00	01:00

Le ore complessive dell'esercizio determinano la capacità totale della fornitura.

Il responsabile di esercizio, sulla base dei dati statistici pregressi e con riferimento al trend giornaliero potrà modulare opportunamente la giusta immissione dei treni, sia come numero che come configurazione allo scopo di evitare viaggi con treni parzialmente utilizzati e quindi con costi pro-capite elevati.

La analisi intelligente dei dati del sistema di ticketing è molto importante a questi fini.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione generale di studio dell'esercizio	02_MTL2T1A0DESEGENR001-0-2

## 4.5 IPOTESI E METODI DI CALCOLO

Questo capitolo definisce le principali ipotesi e i metodi di calcolo delle prestazioni di servizio del sistema di trasporto con particolare riguardo a frequenza di esercizio, tempo di sosta in stazione, analisi dei tempi di inversione e stima della flotta.

A supporto dei calcoli indicati si sono svolte delle analisi più approfondite attraverso modelli dinamici rigorosi finalizzati alla tratta e al profilo di tracciato della Linea2.

I calcoli espressi sono stati redatti in funzione dei reali vincoli dinamici e fisici del tracciato e del rotabile. I corretti perimetri di fattibilità del sistema sono basati, oltre che dai predetti vincoli, anche dalle richieste di esercizio e da il giusto compromesso da ricercare tenendo conto della efficienza del trasporto, ma anche dei costi di esercizio e della sicurezza del sistema.

### 4.5.1 Velocità di esercizio

La velocità di esercizio è importante per attrarre i passeggeri da altre modalità di trasporto.

Uno degli obiettivi più importanti nella introduzione di un nuovo sistema di trasporto è quello di trasportare più passeggeri, in parte nuovi, aggregandoli spazialmente e temporalmente a riduzione del trasporto individuale più inquinante e costoso.

La velocità di spostamento, criterio vincente per i treni ad alta velocità, è determinante anche nei sistemi metropolitani leggeri ma dove però sono forti i vincoli sia in tema di sicurezza che di comfort. La dissipazione energetica e l'efficienza di alimentazione dipendono in modo diretto dal valore della velocità commerciale adottata. I giusti valori di velocità, accelerazione e potenza dinamica dovranno essere oggetto di analisi comparata da parte dei competitors.

Non è necessario ottenere una velocità massima molto elevata, questo in considerazione delle ineliminabili riduzioni di velocità nelle curve, in corrispondenza degli scambi, nelle stazioni, nei capilinea, etc.

Le ipotesi base per la Linea 2 sono le seguenti:

- velocità massima 80 km/h;
- massima velocità in curva in accordo al raggio della curva stessa pari a 60Km/h;
- massima velocità di approccio alla stazione 40 km/h;
- massima velocità negli scambi:
  - in retta non sono previste limitazioni;
  - in deviata 25 km/h;
- massima velocità in retro-stazione 10 km/h.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione generale di studio dell'esercizio	02_MTL2T1A0DESEGENR001-0-2

Il profilo di velocità mostra un picco massimo che è funzione dei seguenti parametri:

- distanza tra gli assi di stazione;
- tempo di marcia tra essi;
- profilo prescelto;
- tracciato , presenza di curve e movimentazione nei tronchini di inversione.

Si lascia libera la scelta del miglior profilo di velocità da adottare in quanto funzione dei dati di esercizio commerciale, dei requisiti di energia complessiva assorbita e dei parametri della sicurezza e confort del viaggio, tipici della soluzione tecnica adottabile per ciascuna tipologia di rotabile.

#### 4.5.2 Frequenza dell'esercizio

La frequenza e il numero di treni impiegati influenza la capacità oraria del sistema che è il parametro più importante per le aspettative di chi userà il sistema in alternativa agli altri mezzi di trasporto.

La frequenza di esercizio dei treni è fondamentale per la capacità del sistema. Viene calcolata in relazione alla massima frequentazione di passeggeri nell'ora di punta che deve essere inferiore alla capacità del rotabile.

La frequenza "F" dei treni necessaria (numero di treni per ora) viene valutata in base al flusso di passeggeri stimato (PPHPD) e al massimo numero di passeggeri per treno nell'ora di punta (capacità del rotabile).

$$F = \frac{PPHPD}{\text{Rolling stock capacity}}$$

Quindi l'intervallo di esercizio in secondi sarà:

$$h(s) = \frac{3600}{F}$$

valore arrotondato per difetto al più vicino multiplo di 5 secondi. Futuri aggiustamenti della capacità del sistema saranno, quindi, ottenuti modificando la frequenza dei treni.

L'intervallo di esercizio è limitato dalla capacità del sistema: non può essere minore dell'intervallo minimo operativo, il quale è soggetto alle seguenti considerazioni.

- **Intervallo operativo al capolinea:** dipende dalla configurazione e dal tracciato del capolinea e deve includere anche margini di flessibilità per l'esercizio.
- **Intervallo operativo in linea:** l'intervallo operativo sulla linea è il tempo minimo tra due treni consecutivi che permette al secondo treno di circolare senza essere disturbato da quello precedente. Esso dipende dalle caratteristiche del sistema di segnalamento e dal massimo tempo di sosta in stazione. Anch'esso deve includere un margine di flessibilità, altrimenti il minimo contrattempo potrebbe causare ritardi sull'intera linea.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione generale di studio dell'esercizio	02_MTL2T1A0DESEGENR001-0-2

### 4.5.3 Tempo di sosta in stazione

Il tempo di sosta in stazione è definito come il tempo tra l'arresto del treno in stazione e la sua ripartenza dalla stessa. La sua durata, quindi, include:

- tempo di trasferimento: tempo impiegato dai passeggeri per scendere e salire dal treno (in base al traffico in stazione, alla larghezza delle porte, al numero di porte, ecc.);
- tempi tecnici: preparazione per l'apertura delle porte, tempo di apertura delle stesse, tempo di avviso di chiusura delle porte, chiusura e tempo di controllo per arresto/ripartenza del treno.
- *Potrebbe essere personalizzato stazione per stazione e volendo anche in base al periodo di punta o di morbida utilizzando i nuovi sistemi automatici (CBTC ...).*

I tempi tecnici non devono essere maggiori di 5 secondi.

Solitamente il tempo di sosta viene stimato per ogni singola stazione, nelle due direzioni, nell'ora di punta. In relazione alle caratteristiche ipotizzate per il materiale rotabile il tempo minimo teorico di sosta sarà:

$$DW = \left( \frac{(Boarding + Alighting) \times \frac{Headway}{3600}}{Nb\ doors \times Nb\ lanes \times \frac{Flow\ Rate}{60}} \right) + Technical\ times$$

Tale valore viene approssimato per eccesso al multiplo di 5 s. Nell'ora di picco il minimo tempo di sosta sarà considerato comunque pari a 20 s, come riportato al par. 4.9.1.

Il tempo di sosta di 20 secondi usato nel PFTE viene mantenuto fino a eventuale ottimizzazione dei tempi di giro.

## 4.6 Tempo di marcia

### 4.6.1 Criteri generali

Il tempo di marcia dei treni è calcolato in base ai tempi di marcia standard tra le stazioni che dipende principalmente da due parametri: le caratteristiche del rotabile (peso, accelerazione e decelerazione, lunghezza, ecc.) ed il profilo planimetrico e altimetrico del tracciato. È prevista una tolleranza, da aggiungere ai tempi di marcia ottenuti, pari a 5 s/km.

Il calcolo del tempo di marcia in ogni intertratta è stato calcolato sulla base del profilo di velocità prescelto ed è soluzione delle equazioni dinamiche del treno.

Un ampio margine di ottimizzazione viene lasciato aperto soprattutto ai fini di mantenere una tabella oraria senza sprechi di energia e sostenibile elettricamente.



### 4.7 Analisi dell'inversione dei treni

L'inversione dei treni deve essere studiata ad ogni capolinea allo scopo di determinare la capacità della stazione, la validità del tempo di sosta previsto e l'intervallo minimo di inversione.

Nello studiare un'inversione del treno, vengono identificati alcuni punti caratteristici in base alla configurazione del capolinea, per calcolare il tempo minimo necessario per i movimenti di inversione.

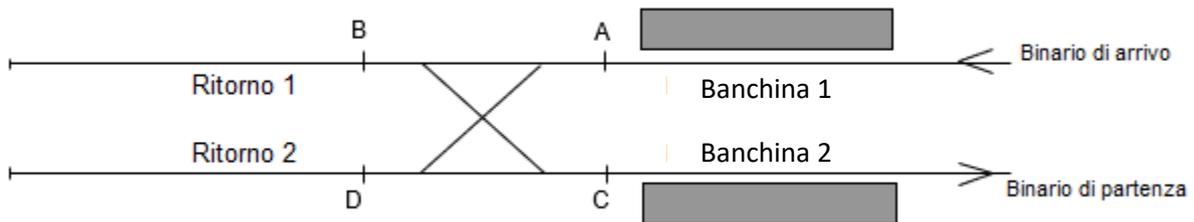


Figura 13. Configurazione del capolinea

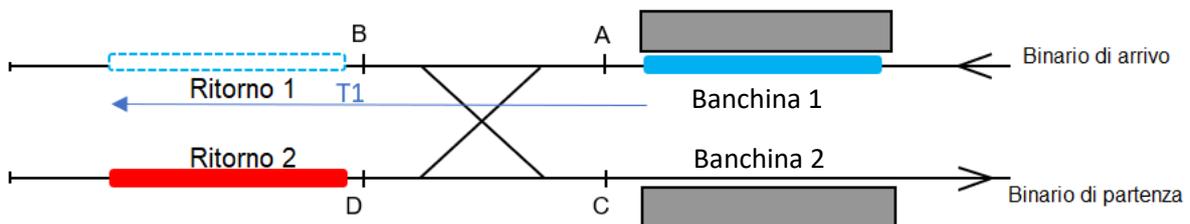
Questi punti sono definiti nella tabella seguente:

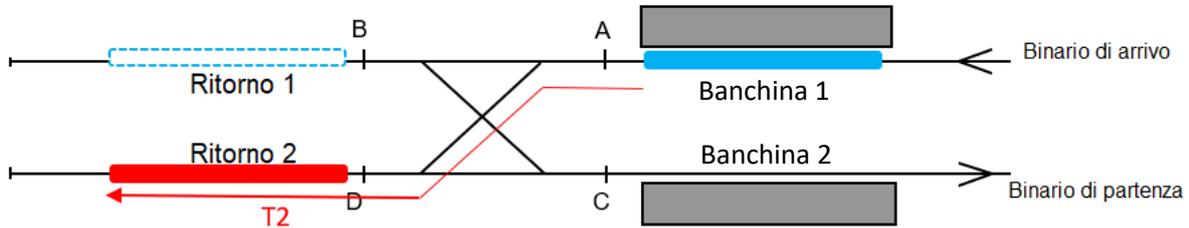
Tabella 26.

Step dell'inversione del treno

PUNTI CARATTERISTICI	DETTAGLI
A	Occupazione dello scambio sul binario 1
B	Partenza dal retro-stazione 1 e occupazione dello scambio
C	Liberazione dello scambio
D	Partenza dal retro-stazione 2 e occupazione dello scambio

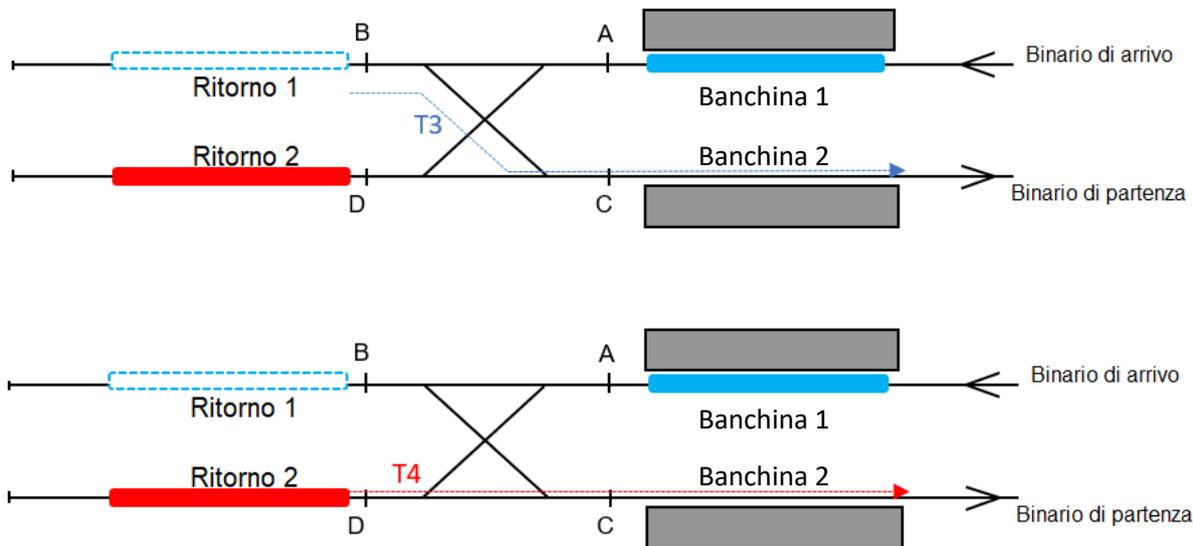
La manovra consiste nel passare dalla banchina 1 al punto di ritorno 1 o 2, secondo la scelta di tracciato nel capolinea, in un Tempo T1 o T2.





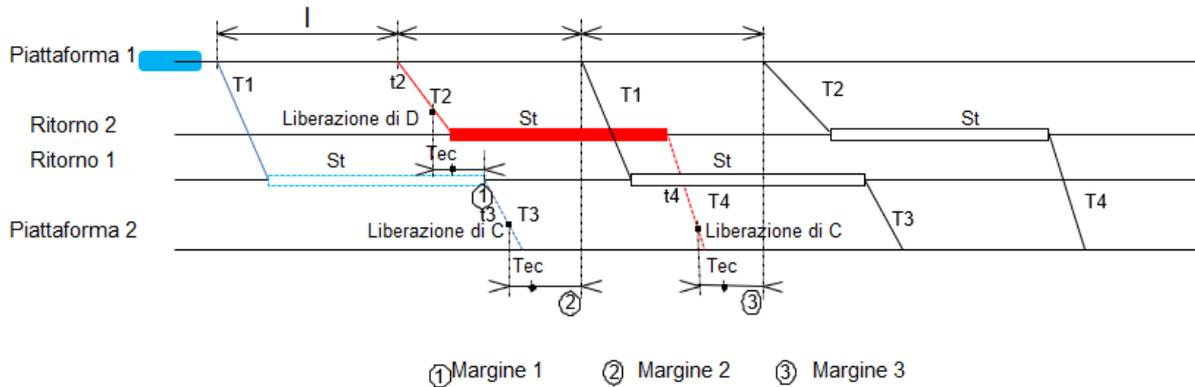
Successivamente si parte dai punti di ritorno in retrostazione 1 o 2 verso la banchina 2 per realizzare l'inversione. Questa seconda manovra si effettua in un tempo T3 o T4 secondo scelta di tracciato.

Figura 14. Configurazione manovra da banchina 1



I risultati dello studio sono mostrati da un grafico che riporta i margini minimi tra due treni durante l'inversione. Questi margini non possono ovviamente essere negativi: significherebbe che un treno dovrebbe fermarsi davanti a un segnale di stop e gli intervalli previsti non sarebbero rispettati.

Perciò questo grafico aiuta a stimare l'intervallo minimo da considerare tra due treni consecutivi e il minimo tempo di inversione, dall'arrivo di un treno al capolinea alla ripartenza del treno.



Nella tabella seguente vengono spiegate le sigle utilizzate nel grafico precedente:

Figura 16. Grafico di studio dell'inversione del treno

**Definizione dei tempi e dei margini**

TEMPO	DEFINIZIONE
<b>I</b>	Intervallo (tempo che trascorre tra la partenza di due treni consecutivi)
<b>T1</b>	Tempo trascorso dalla banchina 1 fino alla posizione Ritorno 1 del retro-stazione. La liberazione del punto B da parte del treno permette di far posto in banchina 1 (o in apposito spazio di manovra) a quello seguente.
<b>T2</b>	Tempo trascorso dalla banchina 2 fino alla posizione Ritorno 2 del retro-stazione. La liberazione del punto D da parte del treno permette di far posto in banchina 1 (o in apposito spazio di manovra) a quello seguente.
<b>T3</b>	Tempo trascorso dalla posizione Ritorno 1 del retro-stazione fino al punto di fermata nella banchina 2. La liberazione del punto C permette di far posto in retro-stazione al treno seguente.
<b>T4</b>	Tempo trascorso dalla posizione Ritorno 2 del retro-stazione fino al punto di fermata nella banchina 2. La liberazione del punto C permette di far posto in retro-stazione al treno seguente.
<b>Tec</b>	Tempo tecnico del segnalamento.
<b>St</b>	Tempo di sosta trascorso con il treno fermo in stazione o retro-stazione fino a che questo non è pronto a partire.
<b>Margine</b>	Tempo trascorso tra la liberazione della comunicazione da parte di un treno e l'occupazione della stessa da parte del treno successivo: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Margine 1 tra la liberazione dello scambio da parte del treno 2 in arrivo dalla banchina e la possibilità per il treno 1 di impegnare la comunicazione per arrivare alla banchina di partenza.</li> </ul>



- Margine 2 tra la liberazione dello scambio da parte del treno 1 diretto verso la banchina di partenza e la possibilità per il treno 3 di impegnare la comunicazione per arrivare dalla banchina di arrivo al retro-stazione.
- Margine 3 tra la liberazione dello scambio da parte del treno 2 diretto in banchina di partenza e la possibilità per il treno 4 di impegnare la comunicazione per arrivare dalla banchina di arrivo al retro-stazione.

Il calcolo del tempo di inversione si basa sulle seguenti ipotesi:

- inversione automatica del treno: 12 s;
- tempo tecnico: 10 s quando è incluso un punto caratteristico dello spostamento;
- i margini devono essere maggiori di 10 s.
- si suppone che il punto di liberazione C è a 5 m della punta dello scambio

#### 4.8 Tempo di giro e flotta

Il tempo di giro teorico (R) è la somma dei tempi di corsa in entrambe le direzioni e dell'inversione ad entrambi i capilinea.

Il numero di treni (N) richiesti in esercizio contemporaneamente sulla linea nell'ora di punta per garantire la frequenza di esercizio (h) si ottiene come segue:

$$N = R/h$$

Sono necessari treni aggiuntivi in considerazione delle esigenze di manutenzione, a causa delle quali alcuni treni non sono sempre disponibili. Verrà considerata una media del 10% dei rotabili in manutenzione.

Inoltre due treni di riserva (di cui uno direttamente disponibile per l'esercizio e un secondo treno destinato alla area manutenzione) saranno aggiunti per rimpiazzare un eventuale treno guasto durante l'esercizio giornaliero.



## 4.9 PRESTAZIONI DELLA LINEA

Per determinare le prestazioni, le caratteristiche e i costi di esercizio della linea devono essere considerati i seguenti elementi:

- tempo di corsa (tempo impiegato dal treno per andare da un capolinea ad un altro);
- frequenza della linea (intervallo tra due treni);
- flotta (numero totale di treni richiesti per l'esercizio).

Queste stime saranno in accordo alle ipotesi riportate al paragrafo precedente.

### 4.9.1 Tempi di sosta

Sulla base di quanto previsto in PFTE, dato anche il numero inferiore di passeggeri previsto per le singole stazioni, si è scelto di uniformare i tempi di sosta di tutte le stazioni a 20 s, per entrambi i binari.

### 4.9.2 Tempi di marcia e velocità commerciale

Il tempo di marcia è stato calcolato come spiegato al par.4.2, in base alle curve planimetriche, alle pendenze ed alla posizione delle stazioni, non includendo però il tempo di sosta. Si richiama integralmente la **Tab. 19 Dettagli Dinamica di base e tempi** al fine di determinare i tempi di marcia e le corrispondenti velocità commerciali.

I tempi di sosta (ad eccezione dei capilinea) vengono sommati per ottenere il tempo tipico di corsa e le velocità commerciali in entrambe le direzioni di marcia.

Tabella 28.

**Tempi e velocità commerciali (Politecnico – Rebaudengo)**

	<b>POLITECNICO – REBAUDENGO</b>	<b>REBAUDENGO – POLITECNICO</b>
Tempo tipico di corsa commerciale	00:15:00	00:15:00
Velocità commerciale (km/h)	33,44	33,67

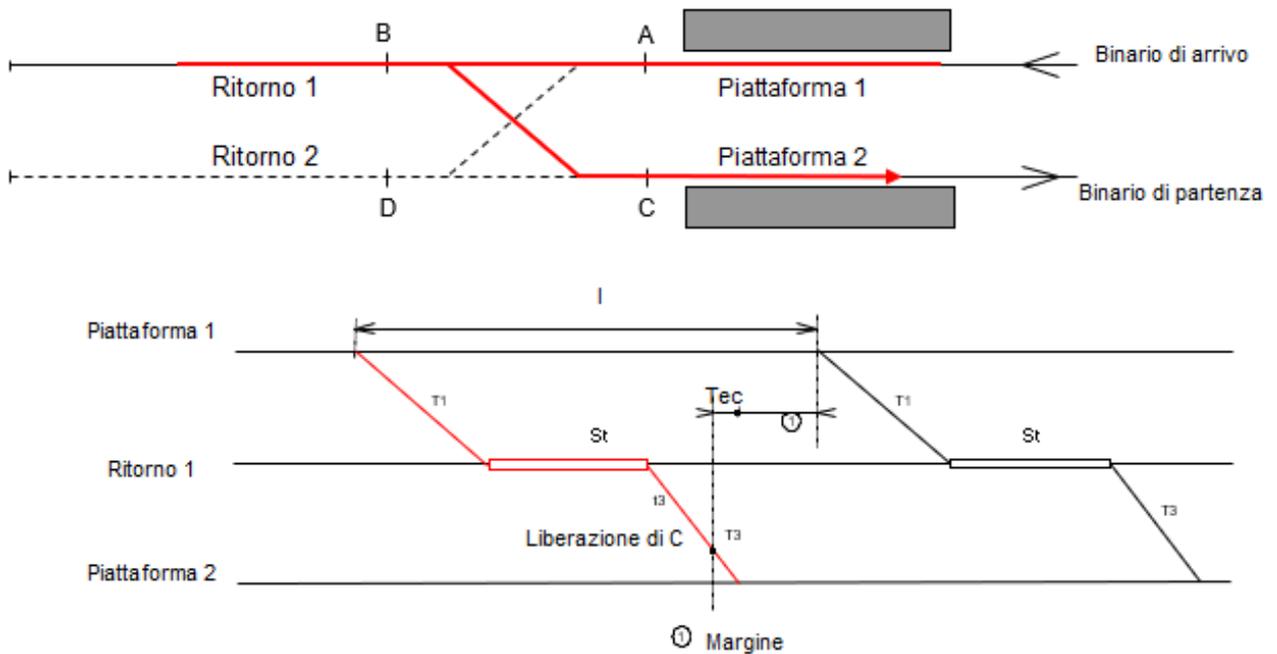


### 4.10 Tempi di inversione

Nel seguito sono riportati i risultati degli studi dei capilinea, eseguiti per le varie configurazioni possibili. L'intervallo minimo e il tempo di inversione sono calcolati come mostrato al par. 4.7, considerando, a seconda delle esigenze, due o quattro posizioni per i treni sulle aste di manovra prima e dopo la comunicazione doppia a valle della stazione. In particolare, viste le esigenze di esercizio, i capilinea ipotizzati con quattro posizioni sono quelli di Orbassano Centro, Anselmetti e Pescarito.

#### 4.10.1 Rebaudengo e Politecnico

A seguire viene riportato il dettaglio dello studio dei movimenti per l'inversione del treno in corrispondenza del capolinea Rebaudengo e dell'analogo posto nel retrostazione Politecnico.



I – Intervallo = 180 s

T1 – Tempo di percorso 1 = 23,0 s

T3 – Tempo di percorso 3 = 46,0 s

t3 – Tempo di liberazione di C = 33,0 s

Tec – Tempo tecnico = 10,0 s

**Margine = 102 s**



**Tempo Inversione = 78 s**

**Possibilità al Capolinea**

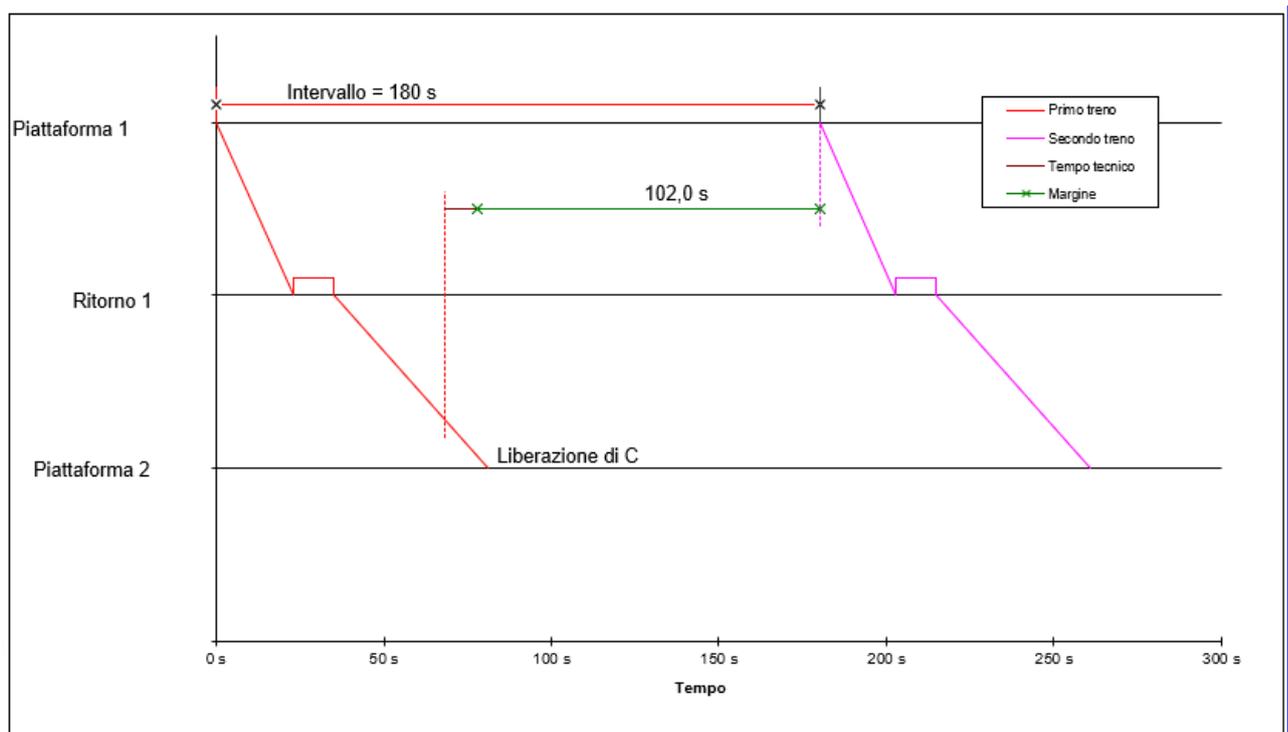
St - Tempo di sosta = 12 s

Intervallo minimo teorico in linea = 78 s ( $T_1 + St + Tec + t_3$ )

Tempo di inversione = 91 s ( $T_1 + St + Tec + t_3$ )

Margine = 13 s ( $> 10$  s)

**Tempo di inversione per un treno = 78 - 104 s**



Di conseguenza il tempo minimo teorico per l'inversione del singolo treno è di 78 s, che, confrontato con l'ipotesi di intervallo minimo di 180 s, permette ancora un margine di 102 s. Considerando il tempo totale per raggiungere la banchina di partenza, il tempo di inversione senza margine sarebbe di 91 s al quale si aggiungano 13 s ( $> 10$  s di margine di cui si è detto al par. 4.7).

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b>
Relazione generale di studio dell'esercizio	02_MTL2T1A0DESEGENR001-0-2

#### 4.11 Tempo giro e flotta tratta Rebaudengo - Politecnico

Come riportato al par. 4.8 il tempo giro teorico è ipotizzando non ci siano 2 investimenti contemporanee e quindi indicando un tempo medio ai 2 capolinea :

**Tempo giro (POL – REB)**

	<b>TEMPO (s)</b>
Politecnico - Rebaudengo	822
Rebaudengo – Politecnico	822
Capolinea Politecnico	78
Capolinea Rebaudengo	78
<b>TEMPO GIRO</b>	<b>1800</b>

Dato che:

- La domanda (3.850 pax/h/dir) non è dimensionante;
- Possono essere parcheggiati (a fine servizio) 14 treni, di cui 9 al deposito Rebaudengo (7 stalli in parcheggio, 1 in area lavaggio e 2 in area officina) e 4 nel retro capolinea Politecnico;
- il ciclo di manutenzione lungo parte da 600.000 km

e date le seguenti considerazioni:

#### CONSIDERAZIONI LEGATE ALLA MANUTENZIONE

- L'area officina è in grado di soddisfare i cicli corti di manutenzione;
- Bisogna cercare di limitare il chilometraggio annuale dei singoli treni per spostare più in avanti i cicli lunghi di manutenzione;

#### STRATEGIA ACQUISTO ROTABILI ROTABILI

- E' conveniente approvvigionare il maggior numero di rotabili (14) per ridurre il chilometraggio annuale;
- Limitando il chilometraggio annuale del singolo treno a 80.000 km/anno si può ipotizzare di avere i cicli lunghi di manutenzione dopo **7,5 anni** (tempo limite di attesa del comprensorio tecnico definitivo)

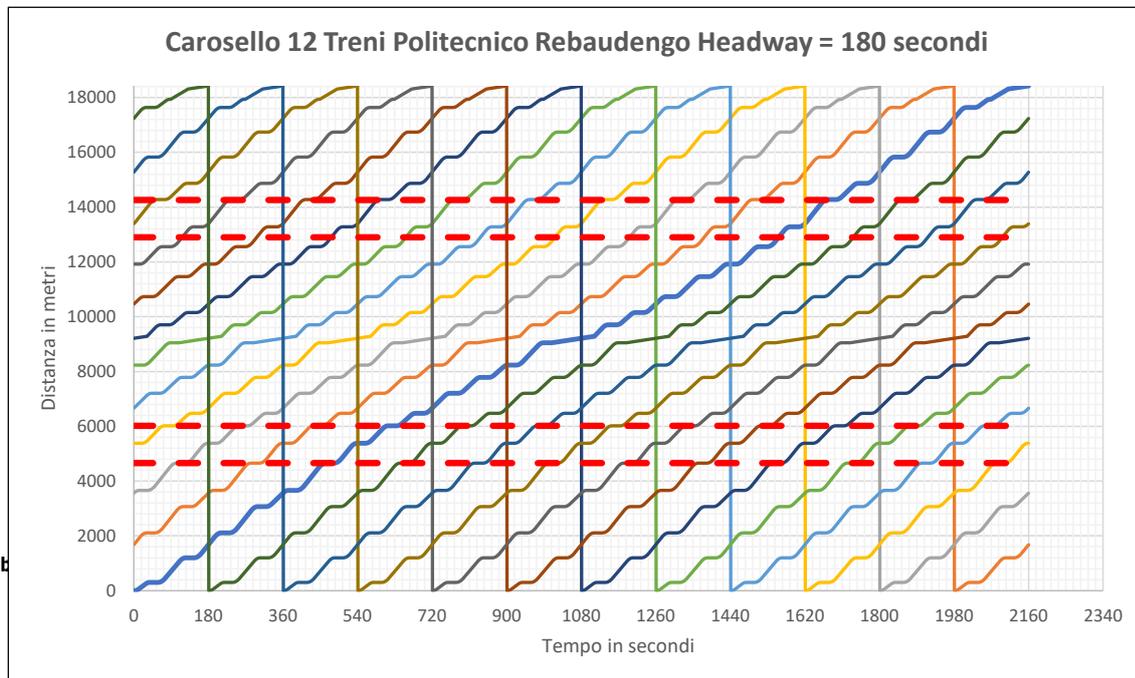
la flotta ipotizzata è di 12 rotabili in linea, con un intervallo minimo di esercizio dell'ordine di **137"** (con tempo di giro 1.642") e con una corrispondente capacità di circa 10.500 pax/h/dir



In riferimento alla flotta totale dei rotabili a disposizione della tratta Reb-Pol sono considerati 12 rotabili necessari esclusivamente per l'espletamento dell'esercizio, oltre a due treni di riserva (di cui uno direttamente disponibile per l'esercizio e un secondo treno destinato alla area manutenzione) eventualmente aggiunti per rimpiazzare un treno guasto durante l'esercizio giornaliero.

Flotta totale dei rotabili tratta Rebaudengo - Politecnico

FLOTTA	
Rotabili necessari per espletare l'esercizio	12
Rotabili di riserva per l'esercizio	1
Rotabili di riserva per la manutenzione (10%)	1
<b>FLOTTA TOTALE</b>	<b>14</b>



- Carosello treni per Tgiro= 2160 s. : tratteggiate le SSE Verona andata e ritorno