

**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 Costruttivo 2: Bologna - Politecnico**

<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. 9337K	<b>PROGETTO STRUTTURALE – POZZI E MANUFATTI DI LINEA IMBOCCO TRONCHINI-GALLERIA DI LINEA TBM RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURE</b>												
		ELABORATO							REV.		SCALA	DATA		
										Int.	Est.			
BIM MANAGER Geom. L. D'Accardi		MT	L2	T1	A2	D	STR	P00	R	001	0	1	-	25/11/2022

AGGIORNAMENTI

Fg. 1 di 1

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	VISTO
0	EMISSIONE	18/01/22	LFA	PDM	FRI	RCR
0	EMISSIONE FINALE A SEGUITO DI VERIFICA PREVENTIVA	25/11/22	LFA	PDM	FRI	RCR
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

<table border="1"> <tr> <td>LOTTO 2</td> <td>CARTELLA</td> <td>9.4</td> <td>1</td> <td>MTL2T1A2D</td> <td>STRP00R001</td> </tr> </table>						LOTTO 2	CARTELLA	9.4	1	MTL2T1A2D	STRP00R001	<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. Strozziere</p>						
LOTTO 2	CARTELLA	9.4	1	MTL2T1A2D	STRP00R001													

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:</b>  <b>Politecnico – Rebaudengo</b>
Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM – Relazione di calcolo	01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

## INDICE

<b>1.</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>DOCUMENTI E NORMATIVE DI RIFERIMENTO</b>	<b>7</b>
<b>2.1</b>	<b>NORMATIVE DI RIFERIMENTO</b>	<b>7</b>
<b>2.2</b>	<b>PROGRAMMI DI CALCOLO</b>	<b>8</b>
<b>3.</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI</b>	<b>9</b>
<b>3.1</b>	<b>SOLETTA DI FONDO/STRUTTURE INTERNE: C30/37</b>	<b>9</b>
<b>3.2</b>	<b>ACCIAIO DA CEMENTO ARMATO: B450C</b>	<b>9</b>
<b>3.3</b>	<b>ACCIAIO DA CARPENTERIA METALLICA</b>	<b>9</b>
<b>4.</b>	<b>DESCRIZIONE DELLE OPERE</b>	<b>11</b>
<b>5.</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA</b>	<b>13</b>
<b>5.1</b>	<b>CONTESTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO</b>	<b>13</b>
<b>5.2</b>	<b>PARAMETRI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO</b>	<b>15</b>
<b>6.</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE SISMICA</b>	<b>16</b>
<b>6.1</b>	<b>VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI BASE</b>	<b>16</b>
<b>6.2</b>	<b>FATTORE DI AMPLIFICAZIONE DELLO SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO</b>	<b>17</b>
<b>6.3</b>	<b>CATEGORIA DI SOTTOSUOLO</b>	<b>17</b>
<b>6.4</b>	<b>VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO</b>	<b>18</b>
<b>7.</b>	<b>CRITERI DI CALCOLO DELLE OPERE</b>	<b>20</b>
<b>7.1</b>	<b>CENNI NORMATIVI</b>	<b>20</b>
<b>7.2</b>	<b>MODELLAZIONE NUMERICA</b>	<b>22</b>
<b>7.3</b>	<b>CARICHI APPLICATI ALLE STRUTTURE</b>	<b>22</b>
<b>8.</b>	<b>STRUTTURA METALLICA DI RINFORZO PROVVISORIA</b>	<b>23</b>
<b>8.1</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI</b>	<b>23</b>
<b>8.2</b>	<b>MODELLO DI CALCOLO</b>	<b>24</b>
<b>8.3</b>	<b>SCHEMATIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI</b>	<b>25</b>
<b>8.4</b>	<b>ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI</b>	<b>28</b>
<b>8.5</b>	<b>VERIFICA DI RESISTENZA DEI PROFILI HEB700</b>	<b>30</b>
<b>8.6</b>	<b>VERIFICA DI RESISTENZA DEI PROFILI HEB400</b>	<b>31</b>
<b>8.7</b>	<b>VERIFICA DI RESISTENZA DEI PROFILI COMPOSTI DI RIPARTIZIONE</b>	<b>32</b>

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:</b>  <b>Politecnico – Rebaudengo</b>
Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM – Relazione di calcolo	01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

<b>9.</b>	<b>STRUTTURA DI IMBOCCO DEFINITIVA</b>	<b>33</b>
<b>9.1</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI</b>	<b>33</b>
<b>9.2</b>	<b>MODELLO DI CALCOLO</b>	<b>34</b>
<b>9.3</b>	<b>SCHEMATIZZAZIONE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI</b>	<b>35</b>
<b>9.4</b>	<b>ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI</b>	<b>39</b>
<b>9.5</b>	<b>VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A.</b>	<b>40</b>
9.5.1	VERIFICHE A FLESSIONE SLU – ARCO ROVESCIO	40
9.5.2	VERIFICHE A FLESSIONE SLU – PIEDRITTI	41
9.5.3	VERIFICHE A FLESSIONE SLU – CALOTTA	41
<b>9.6</b>	<b>VERIFICHE A TAGLIO</b>	<b>42</b>
9.6.1	VERIFICHE A TAGLIO – ARCO ROVESCIO	43
9.6.2	VERIFICHE A TAGLIO – PIEDRITTI	43
9.6.3	VERIFICHE A TAGLIO – CALOTTA	43
<b>9.7</b>	<b>VERIFICHE IN ESERCIZIO</b>	<b>44</b>
9.7.1	ARCO ROVESCIO	44
9.7.2	PIEDRITTI	46
9.7.3	CALOTTA	48

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.	Key-plan linea 2 della Metropolitana di Torino	6
Figura 2.	Struttura di rinforzo provvisoria e definitiva: piante e sezioni	11
Figura 3.	Quadro strutturale tratto dal progetto CARG (Fonte: Forno M.G., 2012)	13
Figura 4.	Carichi agenti sulla centinatura	24
Figura 5.	Modello di calcolo: vista unifilare	25
Figura 6.	Modello di calcolo: indicazione delle aste	26
Figura 7.	Modello di calcolo: assegnazione delle sezioni strutturali	26
Figura 8.	Modello di calcolo: indicazione dei nodi	27
Figura 9.	Modello di calcolo: vista estrusa	27
Figura 10.	Andamento delle azioni assiali [kN]	28
Figura 11.	Andamento delle azioni flettenti (M33) [kNm]	28
Figura 12.	Andamento delle azioni flettenti (V22) [kNm]	29
Figura 13.	Andamento delle azioni flettenti (M22) [kNm]	29
Figura 14.	Andamento delle azioni taglianti (V33) [kN]	30
Figura 15.	Profili HEB700: mappa cromatica delle verifiche eseguite	30
Figura 16.	Quadro riassuntivo della verifica dei profili HEB700	31
Figura 17.	Profili HEB400: mappa cromatica delle verifiche eseguite	31
Figura 18.	Quadro riassuntivo della verifica dei profili HEB400	32
Figura 19.	Profili composti: mappa cromatica delle verifiche eseguite	32
Figura 20.	Quadro riassuntivo della verifica dei profili composti	33
Figura 21.	Carichi agenti sull'imbocco	35
Figura 22.	Modello di calcolo: vista unifilare	36

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:</b>  <b>Politecnico – Rebaudengo</b>
Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM – Relazione di calcolo	01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

Figura 23. Modello di calcolo: indicazione delle aste	36
Figura 24. Modello di calcolo: assegnazione delle sezioni strutturali	37
Figura 25. Modello di calcolo: indicazione dei nodi	37
Figura 26. Modello di calcolo: vista estrusa	38
Figura 27. Andamento delle azioni assiali [kN]	39
Figura 28. Andamento delle azioni flettenti (M33) [kNm]	39
Figura 29. Andamento delle azioni flettenti (V22) [kNm]	40

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1. Sintesi dei parametri geotecnici che caratterizzano il terreno	15
Tabella 2. Sintesi dei parametri di pericolosità sismica di base	18
Tabella 3. Sintesi delle azioni sismiche di progetto	19
Tabella 4. Coefficienti parziali per le resistenze dei materiali naturali	21
Tabella 5. Coefficienti parziali per le verifiche di opere di materiali sciolti	21

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:</b>  <b>Politecnico – Rebaudengo</b>
Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM – Relazione di calcolo	01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

## 1. PREMESSA

La presente relazione si inserisce nell'ambito dell'affidamento dei servizi di ingegneria relativi alla Progettazione Definitiva della Tratta Politecnico-Rebaudengo della Linea 2 della Metropolitana, disciplinato dal Contratto tra la Città di Torino e la società Infratrasporti.TO s.r.l., ed ha per oggetto le fasi realizzative, le analisi strutturali e le verifiche relative alle opere definitive dei pozzi ed Emergenza.

L'oggetto specifico è il dimensionamento e la verifica delle opere necessarie all'imbocco dei tronchini dei pozzi di intertratta verso la galleria di linea realizzata con TBM.

Verrà analizzata dapprima la centinatura metallica provvisoria necessaria per la demolizione dei conci della galleria di linea e, successivamente, l'anello definitivo di collegamento che permetterà di rimuovere detta centinatura, ridistribuendo le azioni agenti.

Il tracciato urbano della Linea 2 della Metropolitana di Torino, si sviluppa per circa 14.50 km dal settore Nord/Est al settore Sud/Ovest della città di Torino e cioè dalla nuova stazione Rebaudengo del passante ferroviario, si inserisce nell'ex scalo ferroviario Vanchiglia, utilizzando la trincea tra le vie Gottardo e Sempione, percorre corso Regio Parco, attraversa il fiume Dora, i Giardini Reali, piazza castello, devia verso via Roma, interseca la linea 1 esistente nella stazione di Porta Nuova e, attraversando prima la stazione ferroviaria di Porta Nuova e successivamente corso Stati Uniti, devia su Corso Trento, percorre corso Duca degli Abruzzi per immettersi lungo corso Orbassano fino al cimitero parco (per maggiori dettagli si riporta nella figura seguente il key-plan della linea in questione).

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:</b>  <b>Politecnico – Rebaudengo</b>
Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM – Relazione di calcolo	01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX



**Figura 1. Key-plan linea 2 della Metropolitana di Torino**

Il 1° lotto funzionale della Linea 2 della Metropolitana di Torino, incluso 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, proseguendo poi lungo la ex trincea ferroviaria posta tra via Gottardo e via Sempione. Il tracciato, a partire dalla fermata Corelli 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 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 portarsi su corso Duca degli Abruzzi fino alla fermata Politecnico.

Il 1° lotto funzionale è costituito dalle seguenti opere:

- 13 stazioni sotterranee;

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:</b>  <b>Politecnico – Rebaudengo</b>
Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM – Relazione di calcolo	01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

- 12 pozzi intertratta aventi funzione di ventilazione, uscita di emergenza ed accesso dei soccorsi;
- La galleria di linea costituita da:
  - o Un tratto in galleria naturale realizzato con scavo tradizionale per una lunghezza di 135m circa, che va dal manufatto di retrostazione Rebaudengo alla Stazione Rebaudengo;
  - o Un tratto in galleria artificiale in Cut&Cover ad uno o due livelli, per una lunghezza complessiva di circa 3,0km che collega le stazioni Rebaudengo, Giulio Cesare, San Giovanni Bosco, Corelli, Cimarosa/Tabacchi, Bologna fino al manufatto in retrostazione Bologna che include anche il pozzo Novara;
  - o Un tratto in galleria naturale realizzato con scavo meccanizzato mediante una TBM (Tunnel Borin Machine) avente diametro di circa 10,00m, che scaverà la galleria di linea dal manufatto in retrostazione Bologna fino al tronchino in retrostazione Politecnico per una lunghezza complessiva di circa 5,6km;
    - Un pozzo terminale di fine tratta funzionale per l'estrazione della TBM, posto all'estremità del tronchino in retrostazione Politecnico;
    - 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.

Nella presente relazione saranno trattati i seguenti argomenti:

- documenti e normative di riferimento per la progettazione definitiva delle opere;
- descrizione delle opere e delle caratteristiche dei materiali impiegati per la realizzazione;
- descrizione del contesto geologico, idrogeologico e caratterizzazione geotecnica;
- caratterizzazione sismica dell'area di riferimento;
- criteri di calcolo delle opere, dimensionamento e verifica delle stesse.

## 2. DOCUMENTI E NORMATIVE DI RIFERIMENTO

### 2.1 Normative di riferimento

La progettazione definitiva delle opere sarà condotta in accordo alle seguenti norme:

- [1] Legge n. 1086 del 05/11/1971: "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica".
- [2] DM 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le costruzioni" - NTC2018 - (GU n.42 del 20/02/2018).
- [3] Circolare esplicativa del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti del 21 gennaio 2019, n.7 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici recante "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b>
Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM – Relazione di calcolo	01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

Norme tecniche per le costruzioni, di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018” (GU Serie Generale n.35 del 11-02-2019 - Suppl. Ordinario n. 5).

- [4] UNI EN 206:2016, “Calcestruzzo – Parte 1: specificazione, prestazione, produzione e conformità”.
- [5] UNI 11104-2016, “Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità – Specificazioni complementari per l’applicazione della EN 206”.
- [6] Stucchi M., et al., 2004 - Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale MPS04. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. (<https://doi.org/10.13127/sh/mps04/ag>).
- [7] Azioni sismiche - Spettri di risposta ver.1.03 (Software sperimentale disponibile dal sito del CSLPP, <http://cslp.mit.gov.it>).
- [8] Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo
- [9] Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica
- [10] Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica

## 2.2 Programmi di calcolo

Per il dimensionamento delle strutture provvisorie e definitive:

- Sap 2000 v18

Si rimanda all’elaborato *"MTL2T1A1DSTRGTOR001-0-0\_Relazione tecnica e di calcolo anello"* per la definizione delle azioni agenti sul rivestimento della galleria di linea.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:</b>  <b>Politecnico – Rebaudengo</b>
Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM – Relazione di calcolo	01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

### 3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

#### 3.1 Soletta di fondo/strutture interne: C30/37

Classe di esposizione:	XC2
Classe di consistenza:	S3
Dosaggio minimo cemento:	300Kg/m <sup>3</sup>
Diametro massimo aggregati:	25mm
Resistenza caratteristica a compressione:	$f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 30.71 \text{ MPa}$
Resistenza media a compressione:	$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 38.71 \text{ MPa}$
Modulo Elastico:	$E_{cm} = 22000 \cdot (f_{cm}/10)^{0.3} = 33019.43 \text{ MPa}$
Resistenza di calcolo a compressione:	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \cdot f_{ck} / 1.5 = 17.40 \text{ MPa}$
Resistenza a trazione media:	$f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2.94 \text{ MPa}$
Resistenza a trazione:	$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 2.03 \text{ MPa}$
Resistenza a trazione di calcolo:	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.35 \text{ MPa}$

#### 3.2 Acciaio da cemento armato: B450C

Tensione di rottura caratteristica	$f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$
Tensione di snervamento di calcolo	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = f_{yk} / 1.15 = 391.3 \text{ MPa}$
Allungamento caratteristico	$\geq 7.5\%$
Modulo elastico	$E_s = 210000 \text{ MPa}$

#### 3.3 Acciaio da carpenteria metallica

Tubi:

Acciaio S355J0

Tensione di rottura caratteristica	$f_{tk} \geq 510 \text{ MPa}$
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} \geq 355 \text{ MPa}$

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:</b> <b>Politecnico – Rebaudengo</b>
Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM – Relazione di calcolo	01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

Profili e piastre:

Acciaio S355J0

Tensione di rottura caratteristica

$f_{tk} \geq 510$  MPa

Tensione di snervamento caratteristica

$f_{yk} \geq 355$  MPa



### 4. DESCRIZIONE DELLE OPERE

La centinatura provvisoria da inserire all'interno della galleria di linea è composta da n.2 coppie di centine HEB700 continue disposte lateralmente all'apertura e n.4 centine HEB400 interne, interrotte mediate travi longitudinali di ripartizione composte a doppio T, aventi altezza complessiva pari a 1500mm, ali 550x130mm e anima avente spessore pari a 40mm.

La struttura definitiva dell'imbocco presenta una sezione policentrica in c.a. avente spessore pari a 150cm.

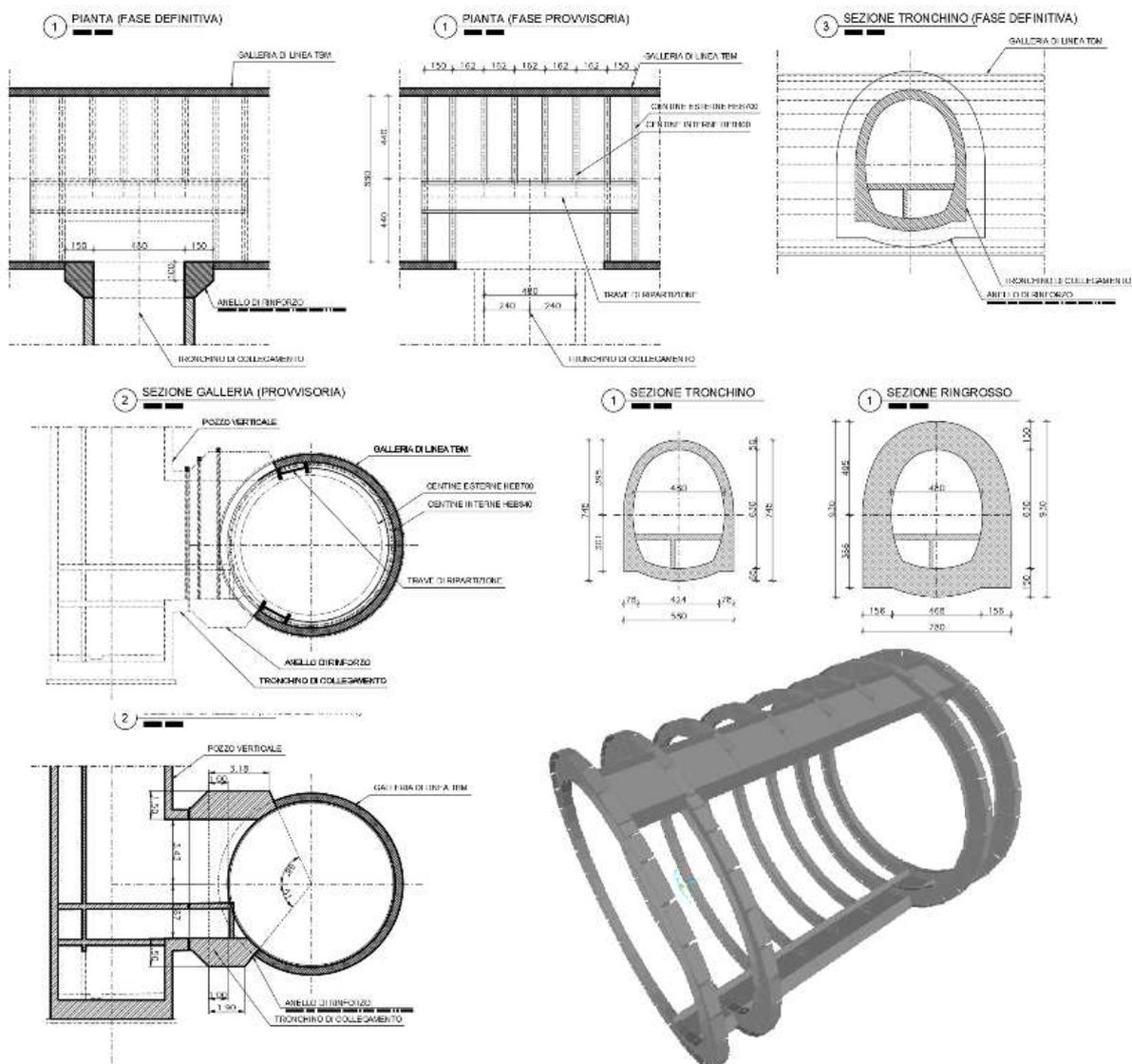


Figura 2. Struttura di rinforzo provvisoria e definitiva: piante e sezioni

Le analisi riportate di seguito sono state eseguite per la condizione più gravosa tra quelle presenti all'attacco tra i tronchini di collegamento dei pozzi e la galleria di linea. Per le informazioni specifiche dei singoli imbocchi si dovrà fare riferimento agli elaborati generali.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:</b> <b>Politecnico – Rebaudengo</b>
Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM – Relazione di calcolo	01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

La fasistica prevista per la realizzazione degli imbocchi è riportata sinteticamente di seguito.

1. Realizzazione della galleria di linea;
2. Realizzazione del “dado” di consolidamento in jet grouting in corrispondenza dell’intersezione tra il tronchino e la galleria di linea (si faccia riferimento alla fasistica dei singoli pozzi);
3. Realizzazione del tronchino di collegamento fino alla distanza prossima all’intersezione con la galleria di linea;
4. Posa in opera delle centinature metalliche all’interno della gallerie di linea, a contrasto con i conci di quest’ultima;
5. Realizzazione dell’ultimo tratto di tronchino e della svasatura a contatto con la gallerie di linea;
6. Demolizione controllata dei conci della galleria di linea nella zona di intersezione con il tronchino.
7. Realizzazione dell’anello di rinforzo definitivo in c.a. che collega il tronchino alla galleria di linea;
8. A maturazione avvenuta dell’anello di rinforzo in c.a., smontaggio della centinatura metallica interna alla gallerie di linea.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:</b>  <b>Politecnico – Rebaudengo</b>
Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM – Relazione di calcolo	01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

## 5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 5.1 Contesto geologico e idrogeologico

L'area lungo la quale si realizzerà la linea 2 della Metropolitana di Torino si ubica nella cosiddetta "pianura piemontese settentrionale" delimitata a Nord-Ovest dalle Alpi e verso Sud-Est dai rilievi collinari della Collina di Torino e del Monferrato. Tale struttura è caratterizzata da una potente serie di età pliocenico superiore – olocenica formata dagli apporti successivi di due ampi conoidi fluvio-glaciali appartenenti al fiume Dora Riparia e torrente Stura di Lanzo. All'interno dei depositi fluvio-glaciali, si rinvencono termini litologici legati ai litotipi del bacino idrografico di alimentazione, per esempio serpentiniti e ultrabasiti del Massiccio Ultrabasico di Lanzo, gneiss e quarziti del Complesso del Dora Maira. I materiali di natura continentale sono sovrapposti ad una serie marina pliocenica composta da depositi sabbiosi, sabbioso-limosi fino a totalmente limosi. Ad ulteriore profondità si rinvencono formazioni marine di età terziaria di natura prevalentemente marnosa ed arenaceo-conglomeratica costituenti la Collina di Torino. Come si può osservare dalla figura sottostante, il fianco occidentale della Collina di Torino, con struttura anticlinale con asse circa NE-SW, si immerge al di sotto dei depositi quaternari della pianura.



**Figura 3. Quadro strutturale tratto dal progetto CARG (Fonte: Forno M.G., 2012)**

I terreni presenti in superficie appartengono quindi all'ambiente continentale e risalgono al periodo Pleistocenico (Era Quaternaria); tali depositi sono formati in prevalenza da materiali ghiaiosi, sabbiosi e limosi all'interno dei quali si rinvencono localmente ciottoli silicatici, silicei e calcarei. I ciottoli possono avere dimensioni molto variabili (fino a pluridecimetriche, in media di 10-30 cm), e generalmente sono composti da quarziti, gneiss, serpentiniti e metagabbri. A minori profondità si possono incontrare lenti limoso-argillose attribuibili al fiume Po. La caratteristica principale dei depositi pleistocenici di origine fluvio-glaciale è la presenza in forma discontinua e localizzata, di orizzonti e livelli con grado di cementazione (e/o addensamento) variabile. I livelli conglomeratici, dotati di maggior cementazione, sono caratteristici del sottosuolo di Torino e sono conosciuti con il nome di "puddinghe". I depositi fluvio-glaciali possono presentare caratteristiche notevolmente variabili in termini di resistenza e deformabilità geotecnica in funzione del grado di cementazione ma anche dal punto di vista granulometrico.

A maggiori profondità, al di sotto dei depositi del Quaternario, si possono riscontrare i seguenti materiali geologici, dipendendo dalla zona della città in considerazione:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:</b>  <b>Politecnico – Rebaudengo</b>
Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM – Relazione di calcolo	01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

- depositi lacustri e fluviolacustri del Villafranchiano (Pleistocene inferiore-Pliocene superiore) che possono essere di due differenti tipologie:
  - materiale di ambiente lacustre-palustre, caratterizzati da una granulometria predominante fine e costituiti da alternanza di limi e argille;
  - materiali di ambiente fluviale, più grossolani e rappresentati da livelli sabbioso-ghiaiosi;
- la successione marina Pliocenica (composta da limi argillosi, limi sabbiosi e sabbie grigio-azzurre con fossili);
- la successione marina Oligo-Miocenica della Collina di Torino (formata da marne, siltiti, arenarie e conglomerati marini).

In base agli studi idrogeologici realizzati nella città di Torino e considerando le esperienze previe di progetti simili, possono essere identificati due principali livelli idrogeologici:

- Complesso ghiaioso-sabbioso, sede dell'acquifero libero principale, è formato dai depositi grossolani del Quaternario (ciottoli, ghiaie, e sabbie in matrice sabbioso-limosa) con potenza tra i 30-40 m. In genere i depositi quaternari possono essere caratterizzati da una permeabilità maggiore a  $1.0E-04$  m/s (permeabilità da media a alta) e localmente presentano un grado di permeabilità inferiore (permeabilità media, compresa tra  $1.0E-06$  m/s e  $1.0E-04$  m/s).
- Complesso argilloso-limoso-ghiaioso, sede di un acquifero profondo di tipo "multifalda" situato ad una profondità indicativa tra 40 e 200 m dal p.c. Questo acquifero è costituito da alternanze di depositi medio grossolani e fini appartenenti ai depositi fluviolacustri del Villafranchiano (con una permeabilità media, compresa tra  $1.0E-06$  m/s e  $1.0E-04$  m/s), chiusi al tetto da depositi argillosi (potenti fino a 20-30 m e con permeabilità medio-bassa, da  $1.0E-08$  m/s a  $1.0E-06$  m/s).

Si può concludere che i lavori della Linea 2 interferiranno esclusivamente con l'acquifero superficiale del complesso ghiaioso-sabbioso, con eccezione della tratta compresa tra le stazioni di Zappata e Caboto lungo la quale la soletta della galleria attraverserà i depositi del Villafranchiano. Con riferimento all'esperienza della Linea 1 della Metropolitana di Torino, la falda superficiale si colloca ad una profondità variabile tra i 14 m ed i 16 m dal piano campagna e l'oscillazione annuale può raggiungere un valore massimo di 2.0 m.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:</b>  <b>Politecnico – Rebaudengo</b>
Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM – Relazione di calcolo	01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

## 5.2 Parametri geotecnici di riferimento

Con riferimento alla relazione Geotecnica, sono state individuate 7 unità geotecniche, caratterizzate da un comportamento meccanico-deformativo similare.

Nella seguente tabella si riportano gli intervalli di valori proposti per i parametri di resistenza e deformabilità delle unità geotecniche interessate dalla realizzazione delle opere in sotterraneo della linea 2 della Metropolitana di Torino. Considerando la quantità di prove di laboratorio eseguite sino a questa fase, ed una volta verificato che i materiali attraversati sono principalmente gli stessi, si è usato come riferimento la caratterizzazione geo-meccanica utilizzata nel contesto del progetto esecutiva della linea 1 della Metropolitana di Torino esistente.

**Tabella 1. Sintesi dei parametri geotecnici che caratterizzano il terreno**

Unità	Geologia	Peso di volume ( $\gamma$ )	Coesione $c'$ (kPa)	Angolo resistenza $\phi'$	Modulo (MPa)	Poisson (-)	Coeff. permeabilità (m/s)
1	UID	18÷19	0	29÷30	12÷16	0.30	$2 \cdot 10^{-5}$ a $8 \cdot 10^{-6}$
2	AFR-INS	18÷19	10÷15	36÷38	150÷170	0.30	$2 \cdot 10^{-5}$ a $8 \cdot 10^{-6}$
3	AFR-INS	19÷20	30÷50	38÷40	170÷200	0.30	$8 \cdot 10^{-6}$ a $5 \cdot 10^{-6}$
4	AFR-INS	19÷20	50÷100	38÷40	200÷260	0.30	$8 \cdot 10^{-6}$ a $5 \cdot 10^{-6}$
6	SFR	18÷20	15÷25	30÷32	90÷100	0.35	$5 \cdot 10^{-6}$
5	FAA	19÷21	35÷40	22-26	50÷80	0.35	$2 \div 6 \cdot 10^{-9}$
7	SAF	20÷21	25÷50	26÷28	100÷200	0.35	$2 \div 6 \cdot 10^{-9}$

**NOTE:**

- 1) Il valore del coefficiente di permeabilità nell'Unità 1 (UID) è assimilato a quello degli strati immediatamente inferiori, tenuto conto della sua elevata variabilità granulometrica,
- 2) Lo stesso parametro per l'Unità 2 (AFR e INS) va inteso come valore minimo e per direzione di flusso orizzontale; per direzione di flusso verticale è di circa un ordine di grandezza inferiore.
- 3) Il valore di k nell'Unità 6 (SFR) è stimato in base alla granulometria del terreno.
- 4) Il valore di k per le Unità 5 e 7 (FAA e SAF) si base sui risultati delle prove edometriche, con riferimento al terreno sovraconsolidato.

Per ulteriori dettagli e/o approfondimenti in merito alla caratterizzazione geotecnica dei materiali si rimanda all'elaborato specialistico.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:</b>  <b>Politecnico – Rebaudengo</b>
Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM – Relazione di calcolo	01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

## 6. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

La caratterizzazione sismica prevede:

- la definizione dell'accelerazione sismica di riferimento su substrato rigido di base;
- l'individuazione della classe di sottosuolo, per la valutazione dell'amplificazione stratigrafica;
- l'individuazione di un valore di riferimento per la magnitudo massima attesa.

### 6.1 Valutazione dell'azione sismica di base

La valutazione dell'azione sismica per il dimensionamento degli elementi delle infrastrutture, si basa sulla mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale in cui la pericolosità è quantificata dall'accelerazione di picco (normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità),  $a_g/g$ , in condizioni ideali di sottosuolo rigido e superficie orizzontale, associata a diverse probabilità di superamento in 50 anni. I valori di  $a_g/g$  sono dati su una griglia di punti equi-spaziati di 10km. Sulla stessa griglia sono dati anche in valori dei parametri caratteristici dello spettro di risposta elastico su substrato rigido (Cfr. §3.2 "azione sismica" delle NTC 2018 che, per i valori di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T^*_c$  necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si rimanda agli allegati A e B delle NTC 2008), per le probabilità di superamento associate agli stati limite di verifica previsti dalla normativa di riferimento.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, nei modi chiaramente precisati dalle NTC, per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

La normativa delinea il processo di individuazione dell'azione sismica di progetto che prevede:

- la definizione della vita utile dell'opera,  $V_R$ , sulla base della correlazione tra vita nominale  $V_N$  e classe d'uso  $C_U$ :  $V_R = V_N \times C_U$
- la stima del periodo di ritorno,  $T_R$ , sulla base delle probabilità di superamento,  $P_{VR}$ , associata agli stati limite di verifica, secondo la formula:  $T_R = V_R / \ln(1 - P_{VR})$
- la stima dei valori dei parametri caratteristici dello spettro di risposta elastico su suolo rigido (parametri d'azione) in funzione di  $T_R$ .

I parametri d'azione sono:

- $a_g/g$ , accelerazione massima normalizzata, su sito di riferimento rigido orizzontale;
- $F_0$ , moltiplicatore di  $a_g/g$  che quantifica l'amplificazione spettrale massima su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2;
- $T^*_c$ , periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale su sito di riferimento rigido.
- Gli stati limite di verifica previsti dalla NTC2018 sono elencati di seguito, con le corrispondenti probabilità di superamento in 50 anni:

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:</b>  <b>Politecnico – Rebaudengo</b>
Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM – Relazione di calcolo	01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

- Stato limite ultimo di collasso, SLC,  $P_{RV} = 5\%$ ;
- Stato limite ultimo di vulnerabilità, SLV,  $P_{RV} = 10\%$ ;
- Stato limite di esercizio, di danno, SLD,  $P_{RV} = 63\%$ ;
- Stato limite di esercizio, di operatività, SLO,  $P_{RV} = 81\%$ .

## 6.2 Fattore di amplificazione dello spettro di risposta elastico

In coerenza con le prescrizioni normative, l'accelerazione orizzontale massima in superficie,  $a_{max}/g$ , si ottiene moltiplicando l'accelerazione massima di base,  $a_g/g$ , per un fattore di amplificazione stratigrafica,  $S_s$ , ed uno di amplificazione topografica,  $S_T$ :

$$a_{max}/g = S_s \cdot S_T \cdot a_g/g$$

Il fattore di amplificazione stratigrafica dipende dalla classe di sottosuolo definita sulla base di indagini specifiche per la valutazione delle velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ , nel sottosuolo di sedime delle singole opere, e si calcola secondo la formulazione riportata nella normativa di riferimento (paragrafo 3.2.3.2.1, Tabella 3.2.IV), in funzione dei parametri spettrali  $F_0$  ed  $a_g/g$ .

La classe di sottosuolo modifica anche il valore del periodo  $T_c$  di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione, attraverso il coefficiente  $C_c$  secondo la formulazione riportata in norma (paragrafo 3.2.3.2.1, Tabella 3.2.IV).

Nel caso specifico, l'andamento altimetrico dell'area attraversata dall'infrastruttura di progetto, prevalentemente pianeggiante, con rilievi di pendenza minore di  $15^\circ$ , giustifica l'assunzione di una categoria topografica T1, a cui corrisponde  $S_T = 1$  (Tabella 3.2.III e Tabella 3.2.V).

## 6.3 Categoria di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II delle NTC2018, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ .

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:</b>  <b>Politecnico – Rebaudengo</b>
Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM – Relazione di calcolo	01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

dove:

$h_i$  = spessore dell' $i$ -esimo strato;

$V_{s,i}$  = velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato;

$N$  = numero di strati;

$H$  = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

## 6.4 Valutazione dell'azione sismica di progetto

Sulla base delle caratteristiche delle opere in progetto, sono stati scelti i seguenti parametri:

- **Vita nominale: 100 anni** (Tipo di costruzione di categoria 3 – grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica);
- **Classe d'uso: III** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significanti. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provoca situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso;
- **Coefficienti  $C_u$ : 1.5** (funzione della classe d'uso).

I parametri di pericolosità sismica di base sono stati elaborati a partire dalle coordinate del sito di riferimento. Con riferimento alle opere in oggetto:

- **Latitudine: 45.08081°**
- **Longitudine: 7.694603°**

Sulla base di tali parametri di ingresso si ottengono i seguenti valori di pericolosità sismica:

**Tabella 2. Sintesi dei parametri di pericolosità sismica di base**

Parametri stati limite	u.m.	SLD	SLV
Probabilità di superamento ( <b><math>P_{VR}</math></b> )	%	63	10
Tempo di ritorno ( <b><math>T_R</math></b> )	anni	151	1424
Accelerazione orizzontale massima su suolo rigido ( <b><math>a_g</math></b> )	g	0.039	0.068
Fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale ( <b><math>F_0</math></b> )	-	2.681	2.854

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:</b>  <b>Politecnico – Rebaudengo</b>
Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM – Relazione di calcolo	01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

Tempo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale ( <b>T*c</b> )	s	0.232	0.290
---	---	-------	-------

La categoria di sottosuolo è stata definita in funzione dei materiali naturali interessati dalle opere in progetto; in particolare nel caso in esame si adotta la categoria di sottosuolo **B** (*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s*).

Per quanto riguarda le condizioni topografiche è stata attribuita alle opere in oggetto la categoria T1 (*Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$* ).

Sulla base di quanto sopra esposto, i parametri sismici di progetto che saranno impiegate per le analisi delle opere in oggetto risultano:

**Tabella 3. Sintesi delle azioni sismiche di progetto**

Stato Limite	Coefficienti sismici	Depositi di paleofrana
SLD	Ss	1.200
	Cc	1.473
	St	1.000
	$a_{max}$ (g)	0.046
SLV	Ss	1.200
	Cc	1.409
	St	1.000
	$a_{max}$ (g)	0.080

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:</b>  <b>Politecnico – Rebaudengo</b>
Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM – Relazione di calcolo	01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

## 7. CRITERI DI CALCOLO DELLE OPERE

In ottemperanza con la normativa vigente, i calcoli sono condotti con il metodo semi-probabilistico agli stati limite.

Le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU) sono state effettuate nel rispetto dei criteri delle NTC2018.

### 7.1 Cenni Normativi

I criteri per la verifica e il dimensionamento di seguito esposti si applicano a tutte le opere.

In accordo con quanto prescritto dalla Normativa vigente, per ogni Stato Limite Ultimo (SLU) deve essere rispettata la seguente condizione:

$$E_d < R_d$$

in cui  $E_d$  rappresenta il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione, mentre  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza. Per quanto concerne le azioni di progetto  $E_d$ , queste possono essere determinate applicando i coefficienti parziali sulle azioni caratteristiche, oppure, successivamente, sulle sollecitazioni prodotte dalle azioni caratteristiche.

Le azioni sull'opera di sostegno sono quelle dovute al peso proprio del terreno e del materiale di riempimento, ai sovraccarichi e all'acqua. In particolar modo, nella valutazione dei sovraccarichi a tergo di un'opera di sostegno, è necessario tenere in conto dell'eventuale presenza di costruzioni, di depositi di materiale, di veicoli in transito o di apparecchi di sollevamento.

I valori dei coefficienti parziali da assumersi per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi sono riportati nella seguente tabella (Tab. 2.6.I delle NTC 2018):

Coefficienti parziali per le azioni

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		$\gamma_F$			
Carichi permanenti $G_1$	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:</b>  <b>Politecnico – Rebaudengo</b>
Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM – Relazione di calcolo	01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

Il valore di progetto della resistenza  $R_d$  può essere determinato in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, opportunamente ridotto in funzione del coefficiente parziale specificato nella Tab 6.2.II delle NTC2018.

**Tabella 4. Coefficienti parziali per le resistenze dei materiali naturali**

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Le analisi finalizzate al dimensionamento strutturale nelle quali si consideri l'interazione terreno – struttura si dovranno eseguire con i valori caratteristici dei parametri geotecnici, amplificando l'effetto delle azioni con i coefficienti parziali del gruppo A1, così come previsto al §6.2.4.2 della normativa vigente.

Per il calcolo e la verifica si devono considerare i seguenti stati limite ultimi, accertando che le resistenze superino le azioni agenti per ciascuno stato limite considerato:

- SLU di tipo geotecnico (GEO)
  - Collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera (atto di moto rigido);
  - Collasso per carico limite verticale;
  - Sfilamento di uno o più ancoraggi;
  - Instabilità del fondo scavo;
  - Instabilità globale del complesso opera di sostegno – terreno.
- SLU di tipo strutturale (STR)
  - Raggiungimento della resistenza di uno o più sistemi di contrasto;
  - Raggiungimento della resistenza della struttura della paratia.

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno – terreno deve essere effettuata secondo l'approccio 1, con la Combinazione 2 (A2+M2+R2) tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I. Le rimanenti verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 2, con la combinazione (A1+M1+R3).

**Tabella 5. Coefficienti parziali per le verifiche di opere di materiali sciolti**

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	1,1

Nelle condizioni di esercizio, gli spostamenti dell'opera di sostegno e del terreno circostante devono essere valutati per verificarne la compatibilità con la funzionalità dell'opera e con la

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:</b>  <b>Politecnico – Rebaudengo</b>
Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM – Relazione di calcolo	01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

sicurezza e funzionalità di manufatti adiacenti, anche a seguito di modifiche indotte sul regime delle pressioni interstiziali.

Inoltre, secondo quanto prescritto al §6.5.2.2 della normativa vigente, il modello geotecnico deve tenere conto delle possibili variazioni del profilo del terreno a monte e a valle del paramento rispetto ai valori nominali. Nel caso in cui la funzione di sostegno sia affidata alla resistenza del volume di terreno a valle dell'opera, la quota di valle deve essere diminuita di una quantità pari al minore dei seguenti valori:

- 10% dell'altezza di terreno da sostenere nel caso di opere a sbalzo;
- 10% della differenza di quota fra il livello inferiore di vincolo e il fondo scavo nel caso di opera vincolata;
- 0.5 m.

Il livello della superficie libera dell'acqua deve essere scelto sulla base di misure e sulla possibile evoluzione del regime delle pressioni interstiziali anche legati a eventi di carattere eccezionale e a possibili malfunzionamenti del sistema di drenaggio. In assenza di particolari sistemi di drenaggio, nelle verifiche allo Stato Limite Ultimo, si deve ipotizzare che la superficie libera della falda non sia inferiore a quella del livello di sommità dei terreni a bassa permeabilità ( $k < 10^{-6}$  m/s).

## 7.2 Modellazione numerica

La strutture sono state schematizzate con modelli piani FEM; in particolare si è utilizzato il codice Sap2000, in cui le strutture sono schematizzate con un modello chiuso costituito da elementi finiti monodimensionali (elementi beams) sui quali sono stati applicati staticamente i carichi agenti (sia verticali che orizzontali).

## 7.3 Carichi applicati alle strutture

Si rimanda all'elaborato "*MTL2T1A1DSTRGT0R001-0-0\_Relazione tecnica e di calcolo anello*" per la definizione delle azioni agenti sul rivestimento della galleria di linea.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:</b>  <b>Politecnico – Rebaudengo</b>
Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM – Relazione di calcolo	01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

## 8. STRUTTURA METALLICA DI RINFORZO PROVVISORIA

### 8.1 Analisi dei carichi

Si fa riferimento all'elaborato "*MTL2T1A1DSTRGTOR001-0-0\_Relazione tecnica e di calcolo anello*" per la definizione delle azioni agenti sul rivestimento della galleria di linea.

In particolare, al paragrafo "*6.3.9 Risultati dei modelli: sollecitazioni per le verifiche strutturali del rivestimento*" sono riportate le sollecitazioni per la verifica del rivestimento.

Facendo riferimento alla Sezione S2-maxOB, dalla Tabella 14 si ricava uno sforzo assiale di calcolo massimo pari a  $N_{sd}=4956,4$  kN, riferito ad una fascia di 1,50m, ovvero,  $N_{sd}=3304,27$  kN-m; la sezione di calcolo esaminata è quindi la più cautelativa in termini di profondità della sezione e battente idraulico; a vantaggio di sicurezza non è stato considerato il contributo del terreno consolidato nell'intorno della galleria.

L'azione radiale considerata come agente all'esterno del rivestimento è stata posta pari a  $\sigma=750,97$  kN/m, mentre l'azione agente sull'imbocco definitivo è stata posta pari a  $N_{sd}=3304,27$  kN-m.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:</b>  <b>Politecnico – Rebaudengo</b>
Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM – Relazione di calcolo	01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

## 8.2 Modello di calcolo

I dati di input utilizzati per la definizione del modello sono:

- la geometria;
- i vincoli;
- i carichi agenti (i carichi sono sempre per metro lineare nella direzione perpendicolare al piano di analisi).

### Geometria

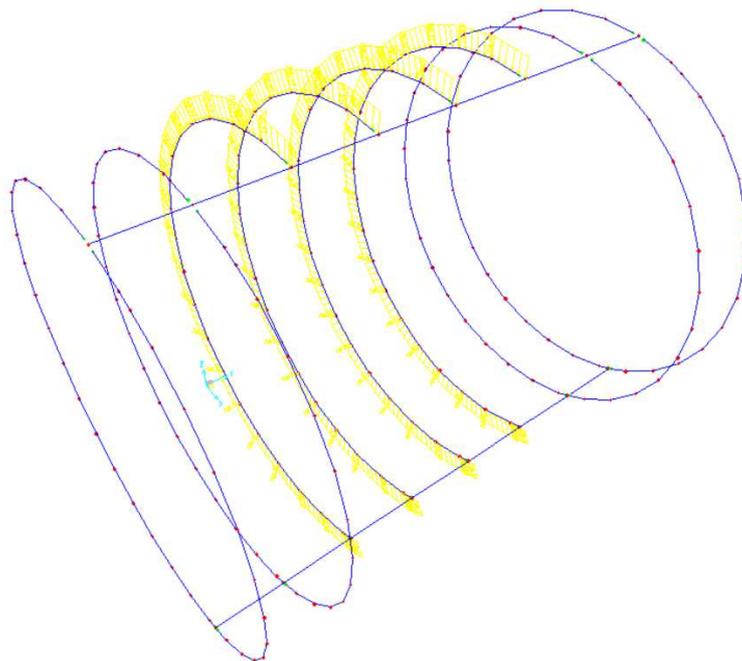
E' una struttura tridimensionale composta da anelli successivo continui e discontinui, questi ultimi interrotti da travi longitudinali di ripartizione.

### Vincoli

Sono stati adottati vincoli elastici non lineari attivi sono a compressione disposti su tutte le centinature, sia laterali che interne, a modellare l'azione esplicata perimetralmente dalla presenza della galleria e del terreno retrostante. In particolare la rigidità adottata alla sola compressione è commisurata alla presenza dei conci di gallerie e del consolidamento in jet grouting retrostante, e prevede un valore cautelativo pari a  $k=10 \text{ daN/cm}^3$ . Nella modellazione i vincoli elastici sono stati applicati linearmente sui profili delle cerchiature.

### Carichi agenti

L'azione radiale considerata come agente all'esterno del rivestimento è stato posta pari a  $\sigma=750,97\text{kN/m}$ , come riportato al paragrafo precedente, tale valore è stato ricavato in base allo sforzo normale agente nella sezione di galleria di linea maggiormente sollecitata, adottando la formulazione di Mariotte e ricavando, dallo sforzo assiale agente nei conci, l'equivalente azione radiale uniforme.



**Figura 4. Carichi agenti sulla centinatura**

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:</b>  <b>Politecnico – Rebaudengo</b>
Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM – Relazione di calcolo	01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

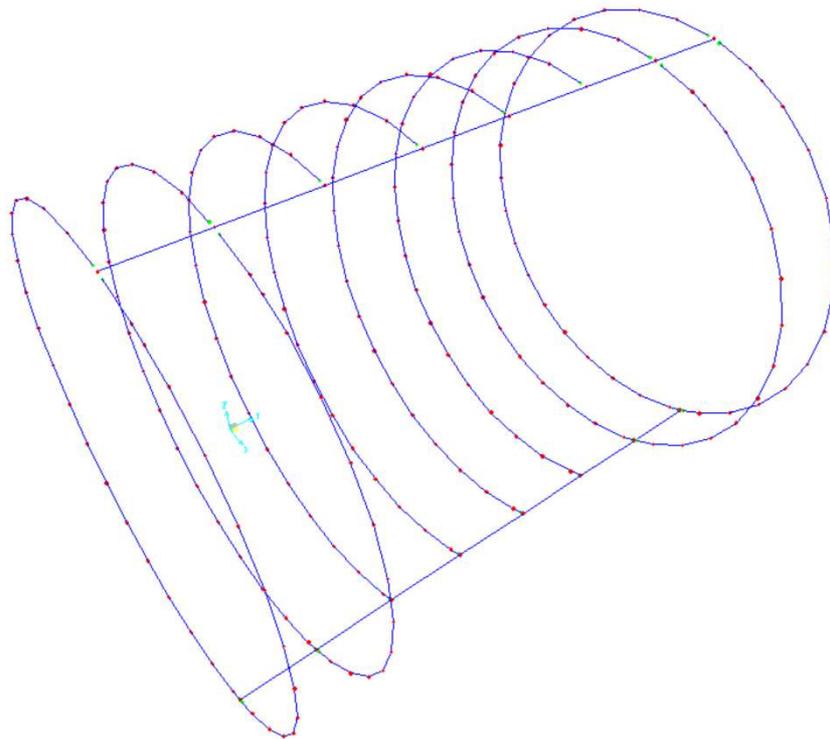
### 8.3 Schematizzazione degli elementi strutturali

L'analisi della struttura è stata eseguita mediante un modello di calcolo agli elementi finiti, ottenuto con l'ausilio del codice di calcolo *Sap2000 Advanced* della *Computers & Structures*.

La metodologia di calcolo adottata, prevede la discretizzazione della struttura in un numero finito di elementi "base" connesse tra di loro da nodi. In particolare, per la modellazione delle aste si è fatto ricorso ad elementi *frame*, i quali includono gli effetti di deformazione assiale, di taglio, di torsione e del momento flettente.

I carichi riportati nel paragrafo precedente sono stati applicati direttamente agli elementi unidimensionali, per aree di influenza.

Le verifiche di resistenza dei profili metallici sono state condotte in automatico dal programma di calcolo utilizzato.



**Figura 5. Modello di calcolo: vista unifilare**



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:

Politecnico – Rebaudengo

Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM –  
Relazione di calcolo

01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

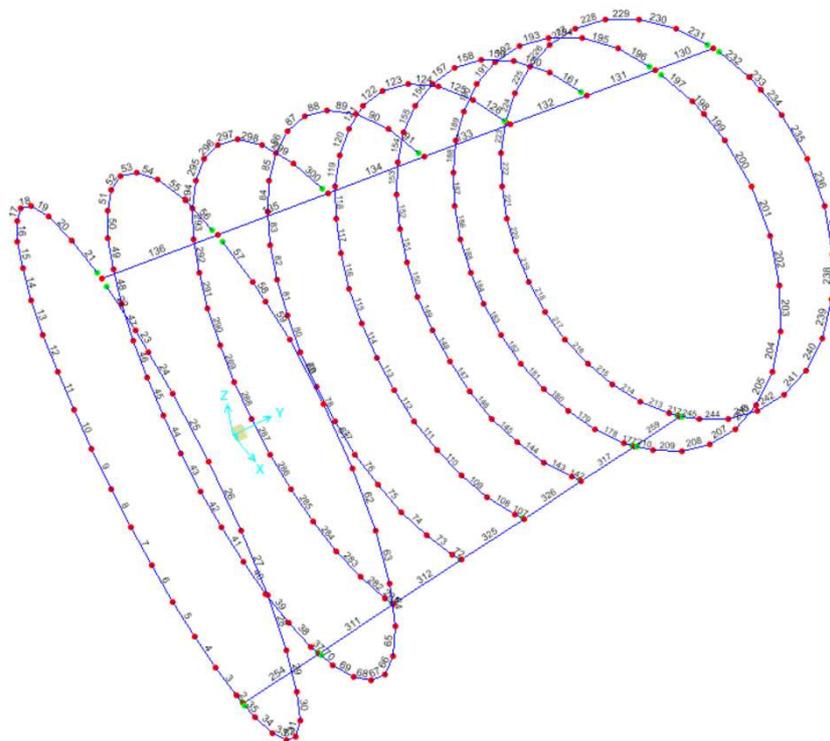


Figura 6. Modello di calcolo: indicazione delle aste

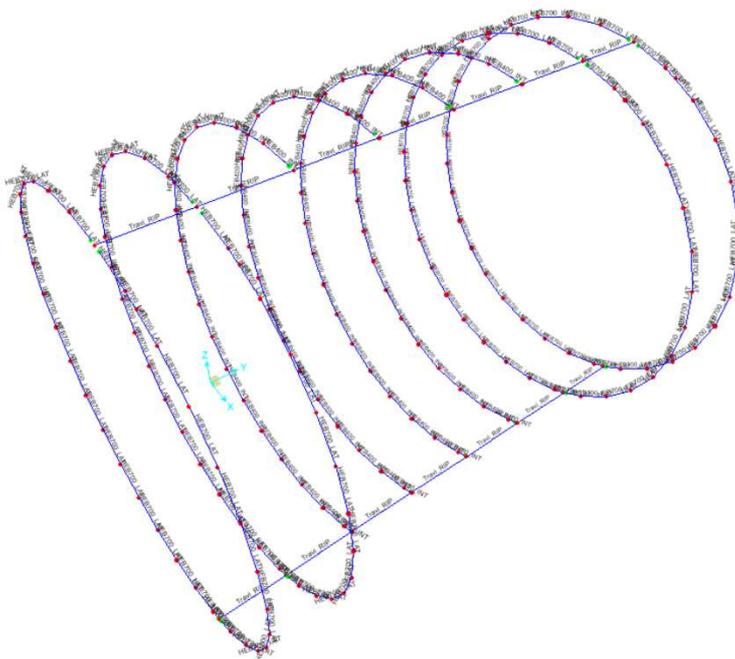


Figura 7. Modello di calcolo: assegnazione delle sezioni strutturali

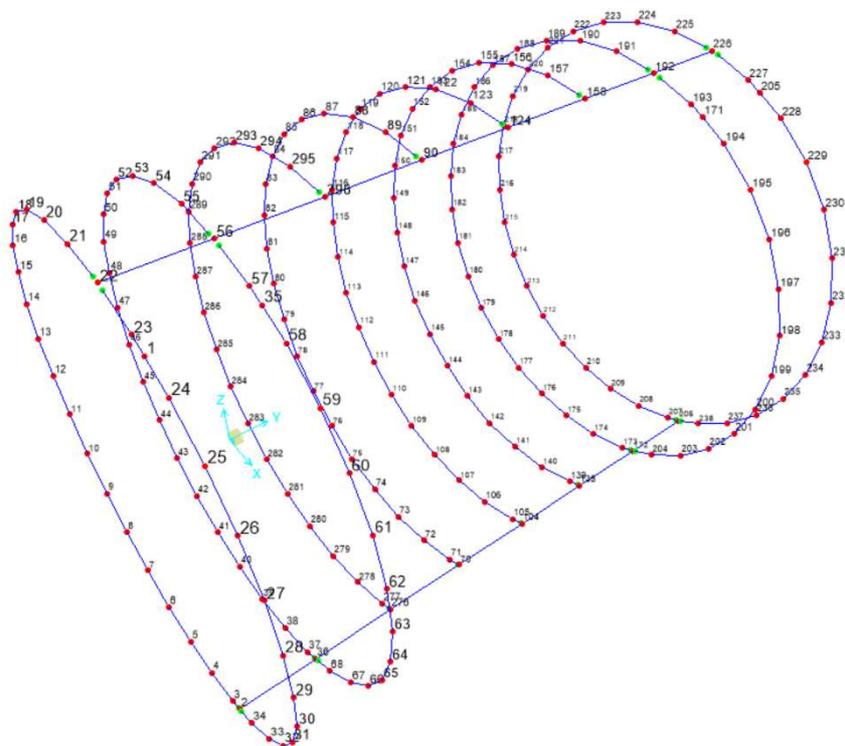


Figura 8. Modello di calcolo: indicazione dei nodi

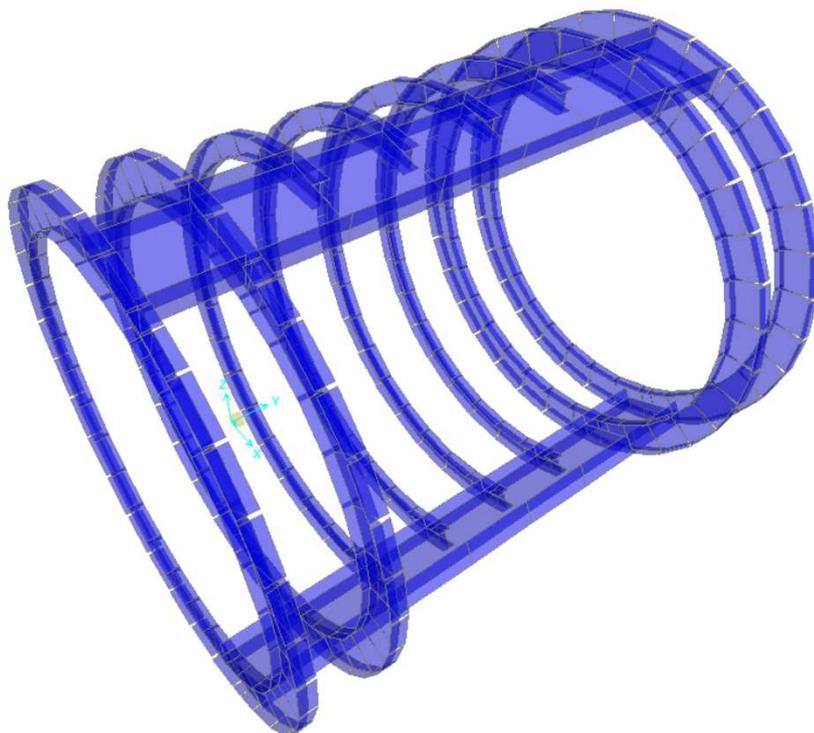


Figura 9. Modello di calcolo: vista estrusa



### 8.4 Analisi delle sollecitazioni

Si riportano di seguito i diagrammi di involuppo delle sollecitazioni.

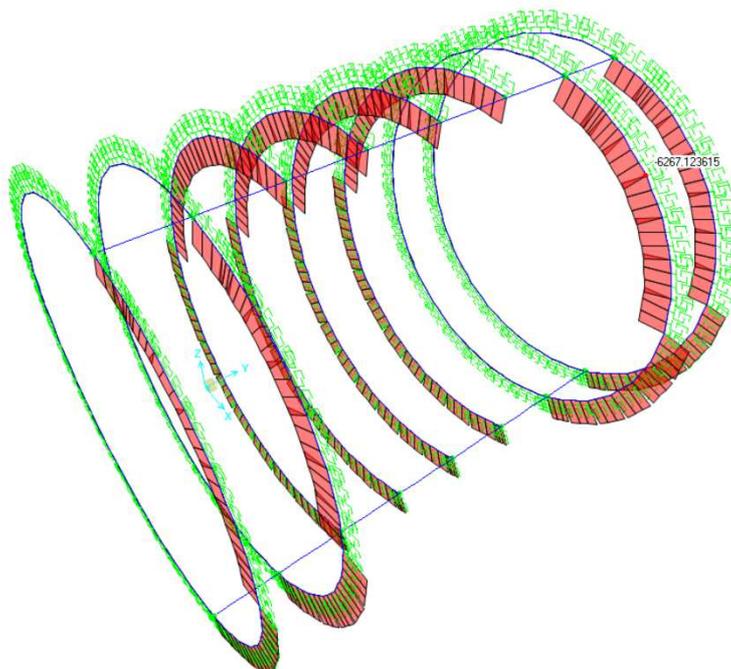


Figura 10. Andamento delle azioni assiali [kN]

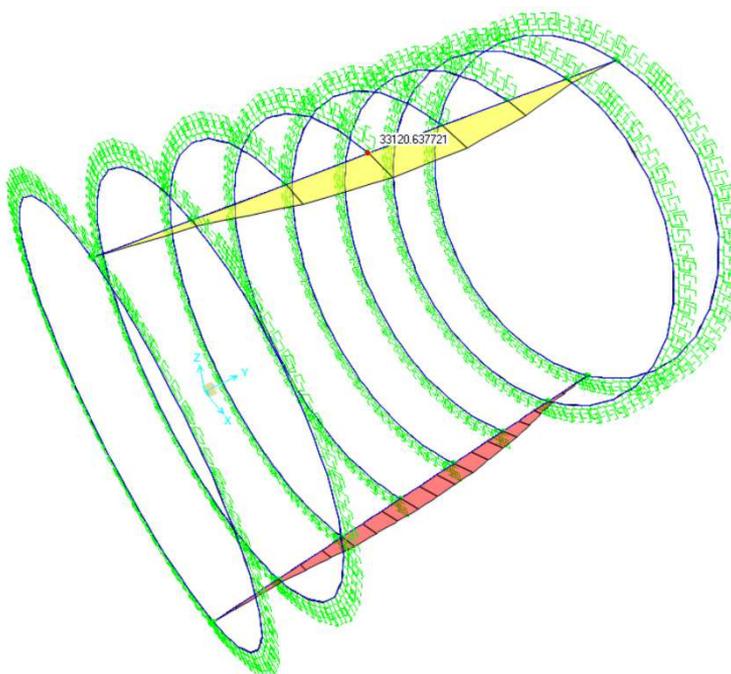


Figura 11. Andamento delle azioni flettenti (M33) [kNm]

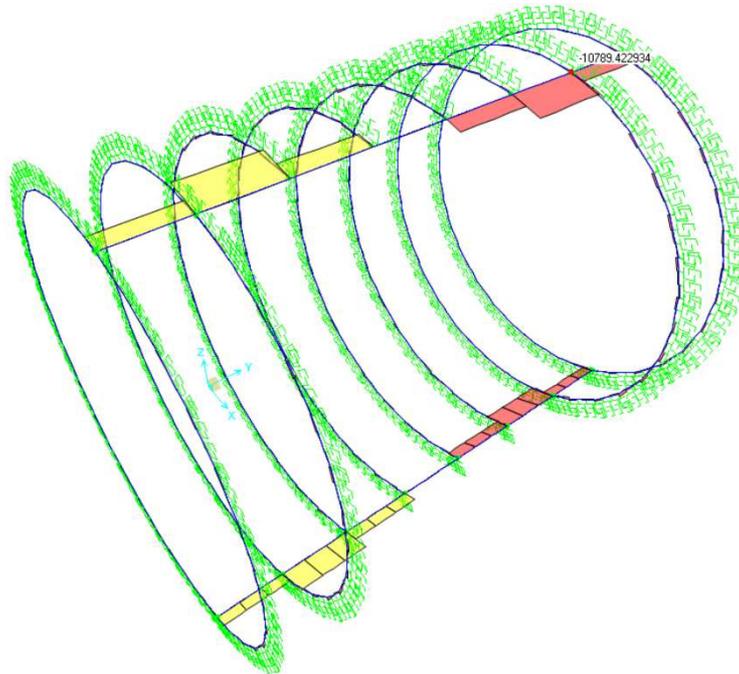


Figura 12. Andamento delle azioni flettenti (V22) [kNm]

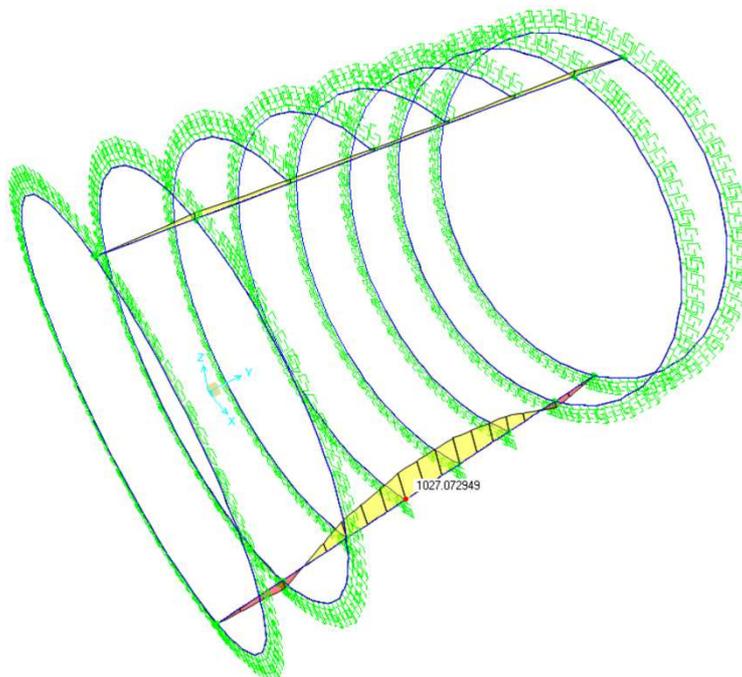


Figura 13. Andamento delle azioni flettenti (M22) [kNm]

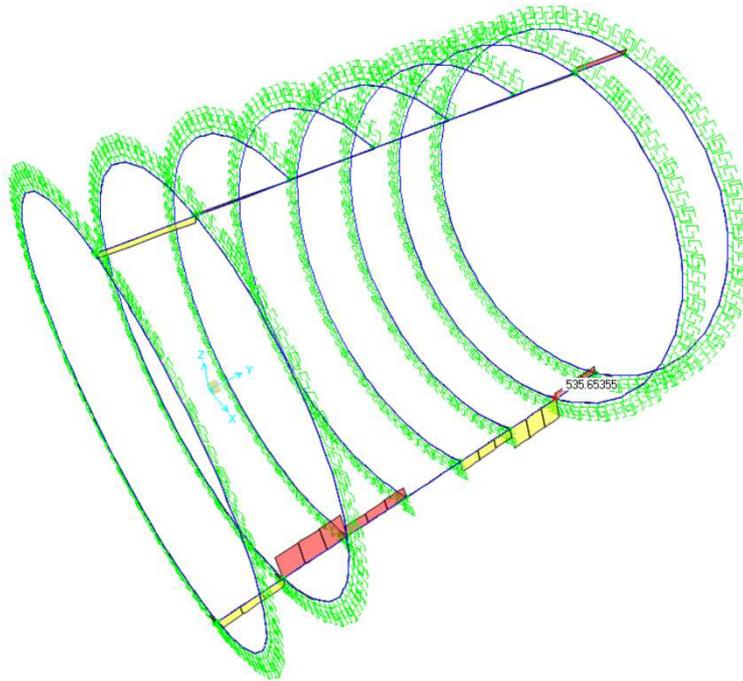


Figura 14. Andamento delle azioni taglianti (V33) [kN]

### 8.5 Verifica di resistenza dei profili HEB700



Figura 15. Profili HEB700: mappa cromatica delle verifiche eseguite

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:</b>  <b>Politecnico – Rebaudengo</b>
Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM – Relazione di calcolo	01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

Tra le aste del modello agli elementi finiti alle quali è stata assegnata la suddetta sezione, la più sollecitata risulta quella identificata con il *n.58*, nella Combinazione di Carico denominata *SLU*; il fattore di sicurezza risultante dall'analisi per tale condizione di carico risulta pari a  $SF=1,29$ .

Si riporta di seguito un prospetto riassuntivo della verifica effettuata, con l'indicazione delle sollecitazioni agenti e delle relative componenti resistenti.

Eurocode 3-2005 STEEL SECTION CHECK							Units: KN, m, C
Corbo : SLU							
Units : KN, m, C							
Frame : 58	Design Sect: HEB700_LAT						
X Mid : 1,822	Design Type: Brace						
Y Mid : 0,000	Frame Type: Moment Resisting Frame						
Z Mid : 4,002	Sect. Class : Class 3						
Length : 0,304	Major Axis : 0,000 degrees counterclockwise from local 3						
Loc : 0,304	RLLF : 1,000						
Area : 0,030	SMajor : 0,007	rMajor : 0,289	AMMajor : 0,012				
IMajor : 0,000	SMInor : 9,617E-04	rMinor : 0,009	AMMinor : 0,016				
IMInor : 1,443E-04	ZMajor : 0,008	E : 210000000,00					
Ixy : 0,000	ZMinor : 0,001	Fy : 355000,000					
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS							
Location	P	M33	M22	U2	U3	T	
0,304	-6313,698	-449,975	1,172	207,313	3,380	-0,208	
PMN DEMAND/CAPACITY RATIO							
Governing Equation (6.2)	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check	
	0,773	0,593	0,177	0,003	0,950	OK	
AXIAL FORCE DESIGN							
	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Nb33,Rd Major Capacity	Nb22,Rd Minor Capacity		
Axial	-6313,698	10654,260	10654,260	10654,260	10654,260		
MOMENT DESIGN							
	Med Moment	Hc,Rd Capacity	Hv,Rd Capacity	Hd,Rd Capacity			
Major Moment	-449,975	2543,793	2543,793	2543,793			
Minor Moment	1,172	341,416	341,416				
	K Factor	L Factor	k Factor	kzy Factor	kyz Factor	C1 Factor	
Major Moment	1,000	1,000	0,975	0,998		1,000	
Minor Moment	1,000	1,000	0,830		0,830		

Figura 16. Quadro riassuntivo della verifica dei profili HEB700

## 8.6 Verifica di resistenza dei profili HEB400



Figura 17. Profili HEB400: mappa cromatica delle verifiche eseguite



Tra le aste del modello agli elementi finiti alle quali è stata assegnata la suddetta sezione, la più sollecitata risulta quella identificata con il *n.300*, nella Combinazione di Carico denominata *SLU*, il fattore di sicurezza risultante dall'analisi per tale condizione di carico risulta pari a  $SF=1,05$ .

Si riporta di seguito un prospetto riassuntivo della verifica effettuata, con l'indicazione delle sollecitazioni agenti e delle relative componenti resistenti.

Eurocode 3-2005 STEEL SECTION CHECK							Units: KN, m, C
Frame : 300      Design Sect: HEB400_INT X Mid : 0,429      Design Type: Brace Y Mid : 1,620      Frame Type: Moment Resisting Frame Z Mid : 4,950      Sect Class : Class 1 Length : 0,863      Major Axis : 0,000 degrees counterclockwise from local 3 Loc : 0,288      RLF : 1,000							
Area : 0,019	SMajor : 0,003	rMajor : 0,171	AMMajor: 0,005				
IMajor : 5,587E-04	SMInor : 7,205E-04	rMInor : 0,075	AMInor: 0,012				
IMInor : 1,081E-04	ZMajor : 0,003	E : 210000000,00					
Ixy : 0,000	ZMInor : 0,001	Fy : 355000,000					
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS							
Location	P	M33	M22	U2	U3	T	
0,288	-5330,186	181,133	-0,223	-83,961	-0,388	-0,076	
PMI DEMAND/CAPACITY RATIO							
Governing Equation (6.2)	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check	
	0,948	0,784	0,163	0,000	0,950	OK	
AXIAL FORCE DESIGN							
	Ned Force	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Nb33,Rd Major	Nb22,Rd Minor		
Axial	-5330,186	6798,960	6798,960	6798,960	6798,960		
MOMENT DESIGN							
	Ned Moment	Nc,Rd Capacity	Nt,Rd Capacity	Nb,Rd Capacity			
Major Moment	181,133	1109,568	1109,568	1109,568			
Minor Moment	-0,223	389,093	389,093				
	K	L	k	kzy	kyz	C1	
Major Moment	1,000	1,000	0,870	0,750		1,000	
Minor Moment	1,000	1,000	0,459		0,275		

Figura 18. Quadro riassuntivo della verifica dei profili HEB400

### 8.7 Verifica di resistenza dei profili composti di ripartizione

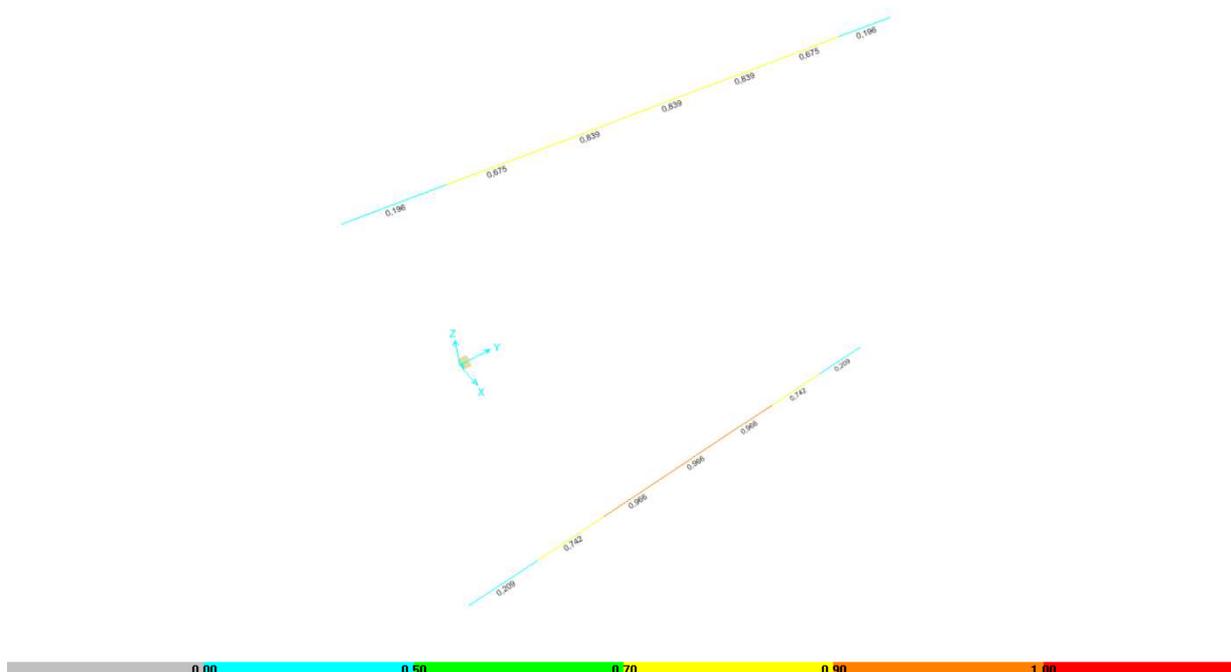


Figura 19. Profili composti: mappa cromatica delle verifiche eseguite



Tra le aste del modello agli elementi finiti alle quali è stata assegnata la suddetta sezione, la più sollecitata risulta quella identificata con il *n.322*, nella Combinazione di Carico denominata *SLU*; il fattore di sicurezza risultante dall'analisi per tale condizione di carico risulta pari a  $SF=1,09$ .

Si riporta di seguito un prospetto riassuntivo della verifica effettuata, con l'indicazione delle sollecitazioni agenti e delle relative componenti resistenti.

Eurocode 3-2005 STEEL SECTION CHECK							Units [KN, m, C]
Combo : SLU							
Units : KN, m, C							
Frame : 325	Design Sect: Travi_RIP						
X Mid : 1,960	Design Type: Beam						
Y Mid : 4,050	Frame Type : Moment Resisting Frame						
Z Mid : -3,939	Sect Class : Class 1						
Length : 1,620	Major Axis : 0,000 degrees counterclockwise from local 3						
Loc : 0,000	RLLF : 1,000						
Area : 0,193	SMajor : 0,098	rMajor : 0,618	AMMajor : 0,060				
IMajor : 0,074	SMInor : 0,013	rMInor : 0,137	AMMInor : 0,119				
IMInor : 0,004	2HMajor : 0,113	E : 210000000,00					
Ixy : 0,000	2HInor : 0,020	Fy : 355000,000					
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS							
Location	P	M33	M22	U2	U3	T	
0,000	0,000	-33076,823	1026,605	-6,475	14,544	0,000	
PMB DEMAND/CAPACITY RATIO							
Governing	Total	P	MMMajor	MMInor	Ratio	Status	
Equation	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio	Limit	Check	
(6.2.1)	0,966	= 0,000	+ 0,822	+ 0,143	0,950	Overstress	
AXIAL FORCE DESIGN							
	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd	Nb33,Rd	Nb22,Rd		
Axial	Force	Capacity	Capacity	Major	Minor		
	0,000	68373,000	68373,000	68373,000	68373,000		
MOMENT DESIGN							
	Ned	Nc,Rd	Nv,Rd	Nb,Rd			
Major Moment	Moment	Capacity	Capacity	Capacity			
Minor Moment	-33076,823	40232,505	40232,505	40232,505			
	1026,605	7156,268	7156,268				
	K	L	k	kzy	kyz	C1	
Major Moment	Factor	Factor	Factor	Factor	Factor	Factor	
Minor Moment	1,000	1,000	1,000	0,755	0,600	1,000	

Figura 20. Quadro riassuntivo della verifica dei profili composti

## 9. STRUTTURA DI IMBOCCO DEFINITIVA

### 9.1 Analisi dei carichi

Si fa riferimento all'elaborato "MTL2T1A1DSTRGT0R001-0-0\_Relazione tecnica e di calcolo anello" per la definizione delle azioni agenti sul rivestimento della galleria di linea.

In particolare, al paragrafo "6.3.9 Risultati dei modelli: sollecitazioni per le verifiche strutturali del rivestimento" sono riportate le sollecitazioni per la verifica del rivestimento.

Facendo riferimento alla Sezione S2-maxOB, dalla Tabella 14 si ricava uno sforzo assiale di calcolo massimo pari a  $N_{Sd}=4956,4$  kN, riferito ad una fascia di 1,50m, ovvero,  $N_{Sd}=3304,27$  kN-m.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:</b>  <b>Politecnico – Rebaudengo</b>
Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM – Relazione di calcolo	01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

L'azione radiale considerata come agente all'esterno del rivestimento è stata posta pari a  $\sigma=750,97\text{kN/m}$ , mentre l'azione agente sull'imbocco definitivo è stata posta pari a  $N_{Sd}=3304,27\text{ kN-m}$ .

## 9.2 Modello di calcolo

I dati di input utilizzati per la definizione del modello sono:

- la geometria;
- i vincoli;
- i carichi agenti (i carichi sono sempre per metro lineare nella direzione perpendicolare al piano di analisi).

### Geometria

E' una struttura bidimensionale composta da una sezione policentrica in c.a. di altezza pari a 150 cm.

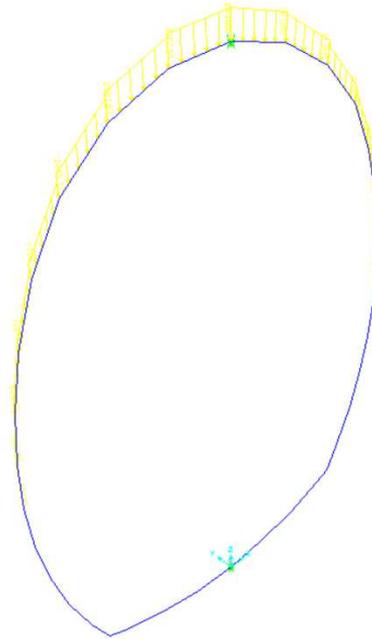
### Vincoli

Sono stati adottati vincoli elastici non lineari attivi sono a compressione disposti su tutto il contorno, a modellare l'azione esplicita perimetralmente dalla presenza della galleria e del terreno retrostante.

### Carichi agenti

L'azione agente sull'imbocco definitivo è stata posta pari a  $N_{Sd}=3304,27\text{ kN-m}$ , agente verticalmente. Come riportato al paragrafo precedente, tale valore è stato ricavato in base allo sforzo normale agente nella sezione di galleria di linea maggiormente sollecitata.

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo</b>
Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM – Relazione di calcolo	01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX



**Figura 21. Carichi agenti sull'imbocco**

### 9.3 Schematizzazione degli elementi strutturali

L'analisi della struttura è stata eseguita mediante un modello di calcolo agli elementi finiti, ottenuto con l'ausilio del codice di calcolo *Sap2000 Advanced* della *Computers & Structures*.

La metodologia di calcolo adottata, prevede la discretizzazione della struttura in un numero finito di elementi "base" connesse tra di loro da nodi. In particolare, per la modellazione delle aste si è fatto ricorso ad elementi *frame*, i quali includono gli effetti di deformazione assiale, di taglio, di torsione e del momento flettente.

I carichi riportati nel paragrafo precedente sono stati applicati direttamente agli elementi unidimensionali, per aree di influenza.



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:

Politecnico – Rebaudengo

Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM –  
Relazione di calcolo

01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

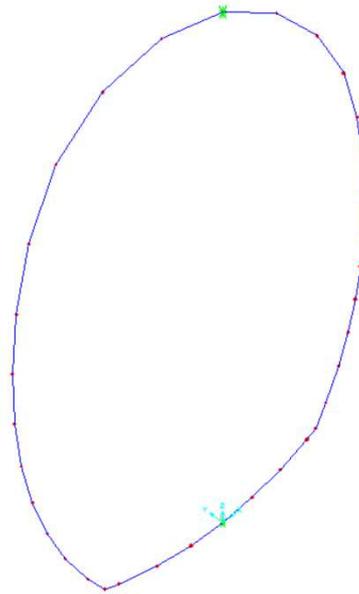


Figura 22. Modello di calcolo: vista unifilare

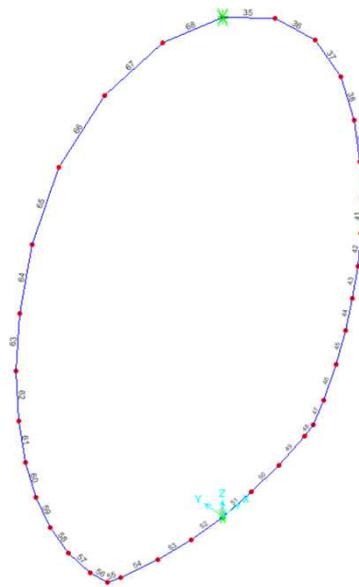


Figura 23. Modello di calcolo: indicazione delle aste



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:

Politecnico – Rebaudengo

Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM –  
Relazione di calcolo

01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

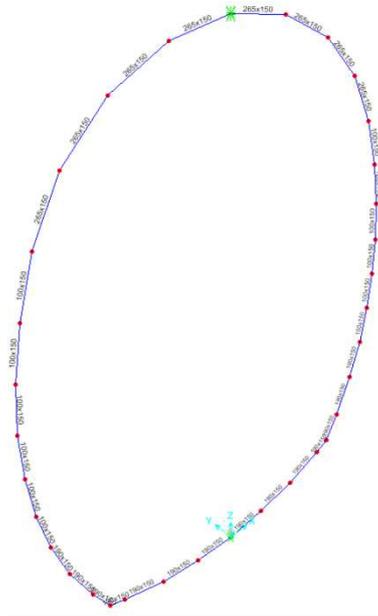


Figura 24. Modello di calcolo: assegnazione delle sezioni strutturali

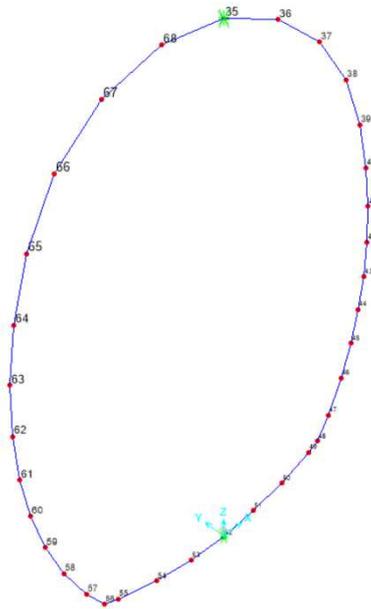


Figura 25. Modello di calcolo: indicazione dei nodi



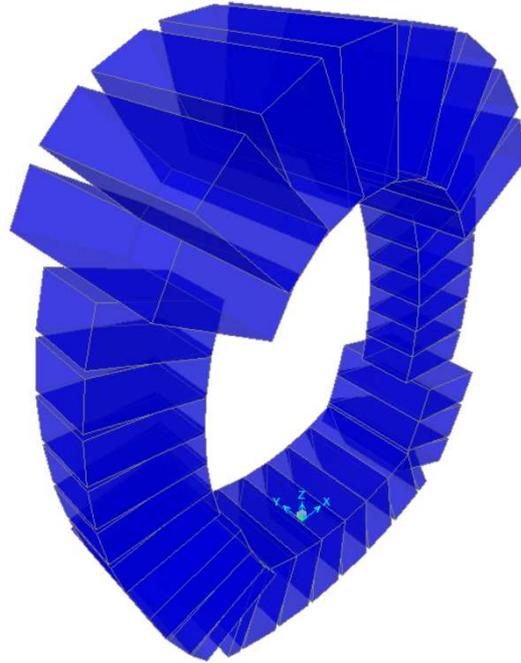
CITTA' DI TORINO

**Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:**

**Politecnico – Rebaudengo**

Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM –  
Relazione di calcolo

01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

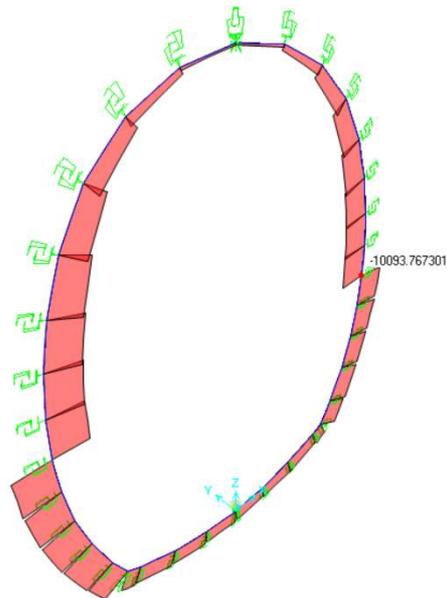


**Figura 26. Modello di calcolo: vista estrusa**

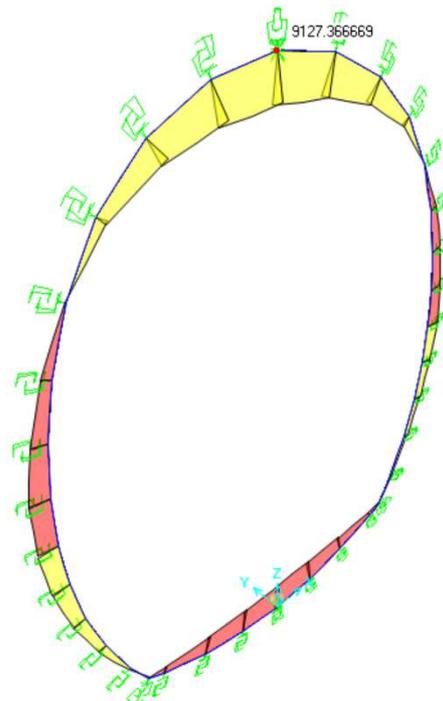
 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:</b>  <b>Politecnico – Rebaudengo</b>
Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM – Relazione di calcolo	01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

### 9.4 Analisi delle sollecitazioni

Si riportano di seguito i diagrammi di involuppo delle sollecitazioni.



**Figura 27. Andamento delle azioni assiali [kN]**



**Figura 28. Andamento delle azioni flettenti (M33) [kNm]**

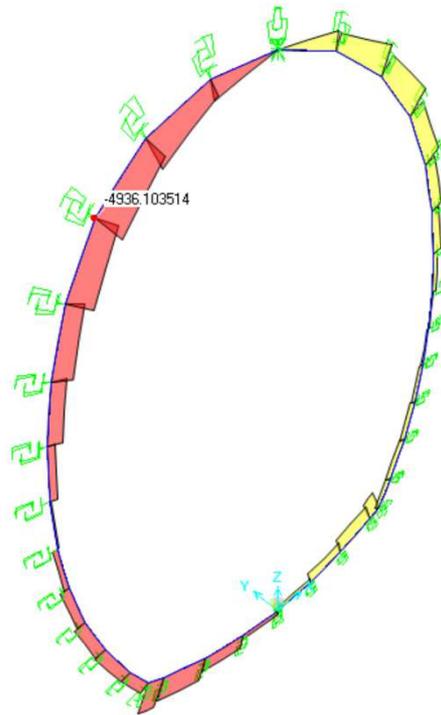


Figura 29. Andamento delle azioni flettenti (V22) [kNm]

### 9.5 Verifica delle sezioni in c.a.

#### 9.5.1 Verifiche a flessione SLU – Arco rovescio

La verifica a flessione è stata condotta per una fascia di 1,00m armata con Ø26/10" superiori e Ø26/10" inferiori; in particolare il valore massimo del momento flettente risulta essere pari a  $M_{Sd}=8471$  kNm ( $N_{Sd}=-5192,00$  kN). Di seguito si riporta un quadro riassuntivo della verifica eseguita.

**Titolo:** ARCO ROVESCIO

N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	190	150	1	111,50	5
			2	111,50	145

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 5192 kN  
M<sub>xEd</sub>: 0 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 0 kNm

P.to applicazione N: Centro  
Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub>: 9,573 kN m

Materiali: B450C C30/37

$E_{su}$ : 67,5 %	$E_{c2}$ : 2 %
$f_{yd}$ : 391,3 N/mm²	$E_{cu}$ : 3,5 %
$E_s$ : 200.000 N/mm²	$f_{cd}$ : 17 %
$E_s/E_c$ : 15	$f_{cc}/f_{cd}$ : 0,8
$E_{syd}$ : 1,957 %	$\sigma_{c,adm}$ : 11,5
$\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm²	$\tau_{co}$ : 0,6933
	$\tau_{c1}$ : 2,029

σ<sub>c</sub>: -17 N/mm²  
σ<sub>s</sub>: 391,3 N/mm²  
ε<sub>c</sub>: 3,5 %  
ε<sub>s</sub>: 22,08 %  
d: 145 cm  
x: 19,84 x/d: 0,1368  
δ: 0,7

Tipo Sezione: Rettangolare, Trapezi, a T, Circolare, Rettangoli, Coord.

Metodo di calcolo: S.L.U., Metodo n

Tipo flessione: Retta, Deviato

N° rett.: 100

Calcola MRd, Dominio M-N, L<sub>0</sub>: 0 cm, Col. modello

Precompresso

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:</b>  <b>Politecnico – Rebaudengo</b>
Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM – Relazione di calcolo	01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

Il momento resistente risulta essere pari a  $M_{Rd}=9573$  kNm, per cui la verifica è rispettata con un fattore di sicurezza  $SF=1,13$ .

### 9.5.2 Verifiche a flessione SLU – Piedritti

La verifica a flessione è stata condotta per una fascia di 1,00m armata con  $\varnothing 26/10''$  superiori e  $\varnothing 26/10''$  inferiori; in particolare il valore massimo del momento flettente risulta essere pari a  $M_{Sd}=4151$  kNm ( $N_{Sd}=-10093,00$  kN). Di seguito si riporta un quadro riassuntivo della verifica eseguita.

Titolo: PIEDRITTI

N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	150	1	53,09	5
			2	53,09	145

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 10093 kN  
M<sub>xEd</sub>: 0 kNm  
M<sub>yEd</sub>: 0 kNm

P.to applicazione N: Centro  
xN: 0  
yN: 0

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub>: 7.399 kNm

Materiali: B450C C30/37

$E_{su}$ : 67,5 ‰	$\epsilon_{c2}$ : 2 ‰	$\sigma_c$ : -17 N/mm <sup>2</sup>
$f_{yd}$ : 391,3 N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ : 3,5 ‰	$\sigma_s$ : 391,3 N/mm <sup>2</sup>
$E_s$ : 200.000 N/mm <sup>2</sup>	$f_{cd}$ : 17	$\epsilon_c$ : 3,5 ‰
$E_s/E_c$ : 15	$f_{cp}/f_{cd}$ : 0,8	$\epsilon_s$ : 3,42 ‰
$\epsilon_{syd}$ : 1,957 ‰	$\sigma_{c,adm}$ : 11,5	d: 145 cm
$\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ : 0,6933	x: 73,33 x/d: 0,5058
$\tau_{c1}$ : 2,029		$\delta$ : 1

Tipo Sezione: Rettan.re Trapezi  
a T Circolare  
Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo: S.L.U. Metodo n  
Tipo flessione: Retta Deviata  
N° rett.: 100  
Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>0</sub>: 0 cm Col. modello

Precompresso

Il momento resistente risulta essere pari a  $M_{Rd}=7399$  kNm, per cui la verifica è rispettata con un fattore di sicurezza  $SF=1,78$ .

### 9.5.3 Verifiche a flessione SLU – Calotta

La verifica a flessione è stata condotta per una fascia di 1,00m armata con  $\varnothing 26/10''$  superiori e  $\varnothing 26/10''$  inferiori; in particolare il valore massimo del momento flettente risulta essere pari a  $M_{Sd}=9127$  kNm ( $N_{Sd}=-282,00$  kN). Di seguito si riporta un quadro riassuntivo della verifica eseguita.



Titolo : CALOTTA

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	265	150	1	175,21	5
			2	175,21	145

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 282 0 kN  
M<sub>Ed</sub> 0 0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 0

P.to applicazione N  
Centro Baricentro cts  
Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub> 9,845 kNm

Materiali

B450C		C30/37	
ε <sub>su</sub>	67,5 ‰	ε <sub>c2</sub>	2 ‰
f <sub>yd</sub>	391,3 N/mm <sup>2</sup>	ε <sub>cu</sub>	3,5 ‰
E <sub>s</sub>	200.000 N/mm <sup>2</sup>	f <sub>cd</sub>	17
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub>	15	f <sub>cc</sub> /f <sub>cd</sub>	0,8
ε <sub>syd</sub>	1,957 ‰	σ <sub>c,adm</sub>	11,5
σ <sub>s,adm</sub>	255 N/mm <sup>2</sup>	T <sub>co</sub>	0,6933
		T <sub>c1</sub>	2,029

σ<sub>c</sub> -17 N/mm<sup>2</sup>  
σ<sub>s</sub> 391,3 N/mm<sup>2</sup>  
ε<sub>c</sub> 3,5 ‰  
ε<sub>s</sub> 62,35 ‰  
d 145 cm  
x 7,707 x/d 0,05315  
ξ 0,7

Tipo Sezione  
Rettan.re Trapezi  
a T Circolare  
Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo  
S.L.U. + S.L.U. -  
Metodo n

Tipo flessione  
Retta Deviata

N° rett. 100  
Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello  
Precompresso

Il momento resistente risulta essere pari a  $M_{Rd}=9845$  kNm, per cui la verifica è rispettata con un fattore di sicurezza  $SF=1,08$ .

## 9.6 Verifiche a taglio

Con riferimento alla fascia corrente e all'elemento fessurato da momento flettente, la resistenza al taglio si valuta con:

$$V_{Rd} = [0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \geq (v_{\min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

Con:

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}$$

e dove

d è l'altezza utile della sezione (in mm);

$\rho_l = A_{sl} / (b_w \cdot d)$  è il rapporto geometrico di armatura longitudinale ( $\leq 0,02$ );

$\sigma_{cp}$  è la tensione media di compressione nella sezione ( $\leq 0,20 f_{cd}$ );

$b_w$  è la larghezza minima della sezione (in mm)

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:</b>  <b>Politecnico – Rebaudengo</b>
Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM – Relazione di calcolo	01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

#### 9.6.1 Verifiche a taglio – Arco rovescio

Il taglio massimo agente risulta essere pari a  $V_{Sd}=6515$  kN.

Per la sezione in esame, la resistenza a taglio in assenza di armatura trasversale risulta essere pari a  $V_{Rd}=1050$  kN; è dunque necessario disporre un'adeguata armatura a taglio.

Si disporranno staffe  $\varnothing 22/20''$  a 4 bracci ( $V_{Rd}=7765$  kN).

#### 9.6.2 Verifiche a taglio – Piedritti

Il taglio massimo agente risulta essere pari a  $V_{Sd}=2990$  kN.

Per la sezione in esame, la resistenza a taglio in assenza di armatura trasversale risulta essere pari a  $V_{Rd}=534,60$  kN; è dunque necessario disporre un'adeguata armatura a taglio.

Si disporranno staffe  $\varnothing 22/20''$  a 2 bracci ( $V_{Rd}=3882$  kN).

#### 9.6.3 Verifiche a taglio – Calotta

Il taglio massimo agente risulta essere pari a  $V_{Sd}=4936$  kN.

Per la sezione in esame, la resistenza a taglio in assenza di armatura trasversale risulta essere pari a  $V_{Rd}=1524$  kN; è dunque necessario disporre un'adeguata armatura a taglio.

Si disporranno staffe  $\varnothing 22/20''$  a 4 bracci ( $V_{Rd}=7765$  kN).



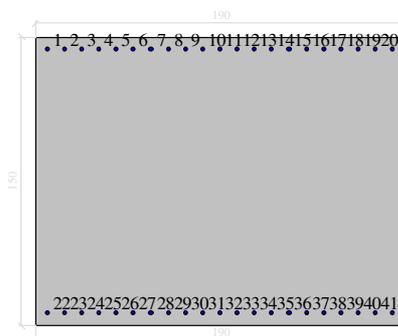
## 9.7 Verifiche in esercizio

### 9.7.1 Arco rovescio

Si riporta di seguito un quadro riepilogative delle verifiche in termini tensionali e di apertura fessure eseguite.

#### Dati generali

#### Dati di input



#### Dati generali

Unità di misura daN, cm

Primo limite deformativo del cls -.002

Secondo limite deformativo del cls -.0035

Limite deformativo dell'acciaio .01

Molt. gamma c in compressione semplice 1.25

#### Materiali per i poligoni

n°	tipo	Nome	Dati
1	Lineare	Lineare Ec = 140000	Ec=140000

#### Materiali per le armature

n°	tipo	Nome	Dati
1	Lineare	Lineare Es = 2100000	Es=2100000

#### Conglomerati di cls

Poligono 1 (pieno)

fctd 0 daN/cm<sup>2</sup>

Ec 140000 daN/cm<sup>2</sup>

Materiale : Lineare Ec = 140000

deformazione iniziale impressa:

Tetha X = 0

Tetha Y = 0

Epsilon(0,0)= 0

n°	X(cm)	Y(cm)
1	-95.	-75.
2	-95.	75.
3	95.	75.
4	95.	-75.

#### Armature

n°	Ø(mm)	X(cm)	Y(cm)	Eps.iniz.	pol.	tipo
1	26.	-88.7	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
2	26.	-79.83	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
3	26.	-70.96	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
4	26.	-62.09	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
5	26.	-53.22	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
6	26.	-44.35	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
7	26.	-35.48	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
8	26.	-26.61	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
9	26.	-17.74	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
10	26.	-8.87	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
11	26.	0.	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
12	26.	8.87	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:

Politecnico – Rebaudengo

Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM –  
Relazione di calcolo

01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

13	26.	17.74	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
14	26.	26.61	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
15	26.	35.48	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
16	26.	44.35	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
17	26.	53.22	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
18	26.	62.09	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
19	26.	70.96	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
20	26.	79.83	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
21	26.	88.7	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
22	26.	-88.7	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
23	26.	-79.83	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
24	26.	-70.96	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
25	26.	-62.09	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
26	26.	-53.22	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
27	26.	-44.35	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
28	26.	-35.48	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
29	26.	-26.61	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
30	26.	-17.74	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
31	26.	-8.87	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
32	26.	0.	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
33	26.	8.87	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
34	26.	17.74	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
35	26.	26.61	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
36	26.	35.48	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
37	26.	44.35	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
38	26.	53.22	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
39	26.	62.09	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
40	26.	70.96	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
41	26.	79.83	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
42	26.	88.7	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000

**Valutazione delle tensioni**

Unità di misura daN, cm

**Verifica n° 1**

Sollecitazioni riferite al baricentro

Mx(daN*c m)	My(daN*c m)	N(daN)	sc,max(daN/c mq)	sc,min(daN/c mq)	sf,max(daN/c mq)	sf,min(daN/cm q)	sp,max(daN/c mq)	sp,min(daN/c mq)
-56470000	0	-346100	0.0	-96.2	2488.9	-1270.6	0.0	0.0

Deformazioni riferite al sistema globale

DEps(0,0)	DTethaX	DTethaY	Ec min	Ec max	Ef max
2,900803E-04	-1,302929E-05	1,619554E-22	-6,87117E-04	1,26728E-03	1,18519E-03

Hutile (d)=143,7

X asse n.=52,73629726 cm

X/d =0,366988847

scarto di convergenza = 8,41E-09 % con 6 iterazioni

Caratt. geom. ideali (rif. baric. ideale):

Mod. Elast. di omog. = 140000 daN/cmq

Xgi(cm)	Ygi(cm)	Aid(cm <sup>2</sup> )	Jxid(cm <sup>4</sup> )	Jyid(cm <sup>4</sup> )	Jxyid(cm <sup>4</sup> )	Jnd(cm <sup>4</sup> )
0.	36.46	13364.750178	2.403979E+07	3.979249E+07	3.962883E-10	2.403979E+07

Deformazioni singoli poligoni

Poligono 1:

TethaX,in.	TethaY,in.	Eps,in.	TethaX,fin.	TethaY,fin.	Eps,fin.
0.000000E00	0.000000E00	0.000000E00	-1.302929E-05	1.619554E-22	2.900803E-04

Eq.asse n.: X\*(-1,619554E-22) + Y\*(-1,302929E-05) + (2,900803E-04) = 0

**Verifiche a fessurazione**

Unità di misura daN, cm

Sollecitazioni riferite al baricentro

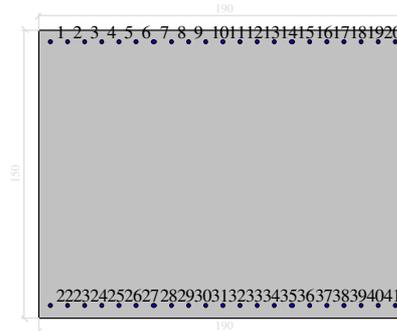
Mx	My	N	Es/Ec	Wm(mm)	Wk(mm)	Sm(mm)	Epsilon	fctd	K2	K3	Beta1	Beta2
-56470000	0	-346100	15	0.1578	0.2682	207	7.6382E-04	15	0.4	0.201	1	1

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:</b>  <b>Politecnico – Rebaudengo</b>
Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM – Relazione di calcolo	01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

### 9.7.2 Piedritti

Si riporta di seguito un quadro riepilogativo delle verifiche in termini tensionali e di apertura fessure eseguite.

#### Dati generali Dati di input



#### Dati generali

Unità di misura daN, cm  
 Primo limite deformativo del cls -.002  
 Secondo limite deformativo del cls -.0035  
 Limite deformativo dell'acciaio .01  
 Molt. gamma c in compressione semplice 1.25

#### Materiali per i poligoni

n°	tipo	Nome	Dati
1	Lineare	Lineare Ec = 140000	Ec=140000

#### Materiali per le armature

n°	tipo	Nome	Dati
1	Lineare	Lineare Es = 2100000	Es=2100000

#### Conglomerati di cls

Poligono 1 (pieno)  
 fctd 0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Ec 140000 daN/cm<sup>2</sup>  
 Materiale : Lineare Ec = 140000  
 deformazione iniziale impressa:  
 Tetha X = 0  
 Tetha Y = 0  
 Epsilon(0,0)= 0

n°	X(cm)	Y(cm)
1	-95.	-75.
2	-95.	75.
3	95.	75.
4	95.	-75.

#### Armature

n°	Ø(mm)	X(cm)	Y(cm)	Eps.iniz.	pol.	tipo
1	26.	-88.7	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
2	26.	-79.83	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
3	26.	-70.96	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
4	26.	-62.09	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
5	26.	-53.22	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
6	26.	-44.35	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
7	26.	-35.48	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
8	26.	-26.61	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
9	26.	-17.74	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
10	26.	-8.87	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
11	26.	0.	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
12	26.	8.87	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
13	26.	17.74	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
14	26.	26.61	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
15	26.	35.48	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
16	26.	44.35	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
17	26.	53.22	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:

Politecnico – Rebaudengo

Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM –  
Relazione di calcolo

01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

18	26.	62.09	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
19	26.	70.96	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
20	26.	79.83	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
21	26.	88.7	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
22	26.	-88.7	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
23	26.	-79.83	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
24	26.	-70.96	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
25	26.	-62.09	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
26	26.	-53.22	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
27	26.	-44.35	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
28	26.	-35.48	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
29	26.	-26.61	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
30	26.	-17.74	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
31	26.	-8.87	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
32	26.	0.	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
33	26.	8.87	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
34	26.	17.74	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
35	26.	26.61	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
36	26.	35.48	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
37	26.	44.35	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
38	26.	53.22	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
39	26.	62.09	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
40	26.	70.96	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
41	26.	79.83	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
42	26.	88.7	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000

**Valutazione delle tensioni**

Unità di misura daN, cm

**Verifica n° 1**

Sollecitazioni riferite al baricentro

Mx(daN*c m)	My(daN*c m)	N(daN)	sc,max(daN/c mq)	sc,min(daN/c mq)	sf,max(daN/c mq)	sf,min(daN/cm q)	sp,max(daN/c mq)	sp,min(daN/c mq)
-56470000	0	-346100	0.0	-96.2	2488.9	-1270.6	0.0	0.0

Deformazioni riferite al sistema globale

DEps(0,0)	DTethaX	DTethaY	Ec min	Ec max	Ef max
2,900803E-04	-1,302929E-05	1,619554E-22	-6,87117E-04	1,26728E-03	1,18519E-03

Hutite (d)=143,7

X asse n.=52,73629726 cm

X/d =0,366988847

scarto di convergenza = 8,41E-09 % con 6 iterazioni

Caratt. geom. ideali (rif. baric. ideale):

Mod. Elast. di omog. = 140000 daN/cmq

Xgi(cm)	Ygi(cm)	Aid(cm <sup>2</sup> )	Jxid(cm <sup>4</sup> )	Jyid(cm <sup>4</sup> )	Jxyid(cm <sup>4</sup> )	Jnd(cm <sup>4</sup> )
0.	36.46	13364.750178	2.403979E+07	3.979249E+07	3.962883E-10	2.403979E+07

Deformazioni singoli poligoni

Poligono 1:

TethaX,in.	TethaY,in.	Eps,in.	TethaX,fin.	TethaY,fin.	Eps,fin.
0.000000E00	0.000000E00	0.000000E00	-1.302929E-05	1.619554E-22	2.900803E-04

Eq.asse n.: X\*(-1,619554E-22) + Y\*(-1,302929E-05) + (2,900803E-04) = 0

**Verifiche a fessurazione**

Unità di misura daN, cm

Sollecitazioni riferite al baricentro

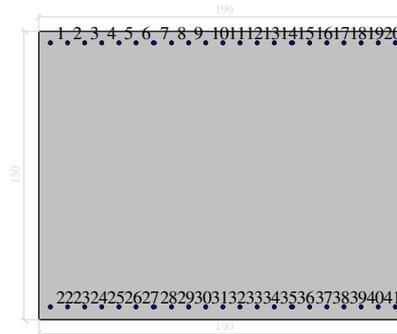
Mx	My	N	Es/Ec	Wm(mm)	Wk(mm)	Sm(mm)	Epsilon	fctd	K2	K3	Beta1	Beta2
-56470000	0	-346100	15	0.1578	0.2682	207	7.6382E-04	15	0.4	0.201	1	1

 <b>CITTA' DI TORINO</b>	<b>Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:</b>  <b>Politecnico – Rebaudengo</b>
Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM – Relazione di calcolo	01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

### 9.7.3 Calotta

Si riporta di seguito un quadro riepilogativo delle verifiche in termini tensionali e di apertura fessure eseguite.

#### Dati generali Dati di input



#### Dati generali

Unità di misura daN, cm  
 Primo limite deformativo del cls -.002  
 Secondo limite deformativo del cls -.0035  
 Limite deformativo dell'acciaio .01  
 Molt. gamma c in compressione semplice 1.25

#### Materiali per i poligoni

n°	tipo	Nome	Dati
1	Lineare	Lineare Ec = 140000	Ec=140000

#### Materiali per le armature

n°	tipo	Nome	Dati
1	Lineare	Lineare Es = 2100000	Es=2100000

#### Conglomerati di cls

Poligono 1 (pieno)  
 fctd 0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Ec 140000 daN/cm<sup>2</sup>  
 Materiale : Lineare Ec = 140000  
 deformazione iniziale impressa:  
 Tetha X = 0  
 Tetha Y = 0  
 Epsilon(0,0)= 0

n°	X(cm)	Y(cm)
1	-95.	-75.
2	-95.	75.
3	95.	75.
4	95.	-75.

#### Armature

n°	Ø(mm)	X(cm)	Y(cm)	Eps.iniz.	pol.	tipo
1	26.	-88.7	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
2	26.	-79.83	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
3	26.	-70.96	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
4	26.	-62.09	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
5	26.	-53.22	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
6	26.	-44.35	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
7	26.	-35.48	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
8	26.	-26.61	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
9	26.	-17.74	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
10	26.	-8.87	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
11	26.	0.	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
12	26.	8.87	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
13	26.	17.74	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
14	26.	26.61	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
15	26.	35.48	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:

Politecnico – Rebaudengo

Imbocco Tronchini-Galleria di linea TBM –  
Relazione di calcolo

01-MTL2T1A2DSTRP00R001-0-1.DOCX

16	26.	44.35	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
17	26.	53.22	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
18	26.	62.09	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
19	26.	70.96	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
20	26.	79.83	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
21	26.	88.7	68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
22	26.	-88.7	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
23	26.	-79.83	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
24	26.	-70.96	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
25	26.	-62.09	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
26	26.	-53.22	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
27	26.	-44.35	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
28	26.	-35.48	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
29	26.	-26.61	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
30	26.	-17.74	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
31	26.	-8.87	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
32	26.	0.	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
33	26.	8.87	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
34	26.	17.74	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
35	26.	26.61	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
36	26.	35.48	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
37	26.	44.35	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
38	26.	53.22	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
39	26.	62.09	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
40	26.	70.96	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
41	26.	79.83	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000
42	26.	88.7	-68.7	0.	1	Lineare Es = 2100000

**Valutazione delle tensioni**

Unità di misura daN, cm

**Verifica n° 1**

Sollecitazioni riferite al baricentro

Mx(daN*c m)	My(daN*c m)	N(daN)	sc,max(daN/c mq)	sc,min(daN/c mq)	sf,max(daN/c mq)	sf,min(daN/cm q)	sp,max(daN/c mq)	sp,min(daN/c mq)
-56470000	0	-346100	0.0	-96.2	2488.9	-1270.6	0.0	0.0

Deformazioni riferite al sistema globale

DEps(0,0)	DTethaX	DTethaY	Ec min	Ec max	Ef max
2,900803E-04	-1,302929E-05	1,619554E-22	-6,87117E-04	1,26728E-03	1,18519E-03

Hutile (d)=143,7

X asse n.=52,73629726 cm

X/d =0,366988847

scarto di convergenza = 8,41E-09 % con 6 iterazioni

Caratt. geom. ideali (rif. baric. ideale):

Mod. Elast. di omog. = 140000 daN/cm<sup>2</sup>

Xgi(cm)	Ygi(cm)	Aid(cm <sup>2</sup> )	Jxid(cm <sup>4</sup> )	Jyid(cm <sup>4</sup> )	Jxyid(cm <sup>4</sup> )	Jnd(cm <sup>4</sup> )
0.	36.46	13364.750178	2.403979E+07	3.979249E+07	3.962883E-10	2.403979E+07

Deformazioni singoli poligoni

Poligono 1:

TethaX,in.	TethaY,in.	Eps,in.	TethaX,fin.	TethaY,fin.	Eps,fin.
0.000000E00	0.000000E00	0.000000E00	-1.302929E-05	1.619554E-22	2.900803E-04

Eq.asse n.: X\*(-1,619554E-22) + Y\*(-1,302929E-05) + (2,900803E-04) = 0

**Verifiche a fessurazione**

Unità di misura daN, cm

Sollecitazioni riferite al baricentro

Mx	My	N	Es/Ec	Wm(mm)	Wk(mm)	Sm(mm)	Epsilon	fctd	K2	K3	Beta1	Beta2
-56470000	0	-346100	15	0.1578	0.2682	207	7.6382E-04	15	0.4	0.201	1	1